Manual de diseño de pavimentos de concreto

para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito

Foto ICPC
Carretera Junín - Barbacoas (Nariño)







ICPC - Medellín

Esta publicación fue preparada por Jorge Alberto Alvarez Pabón director de infraestructura y Cipriano Alberto Londoño Naranjo director técnico del Instituto Colombiano de Productores de Cemento, y diagramada por Gabriel Jaime Betancur Henao.

LONDOÑO NARANJO, Cipriano y ALVAREZ PABÓN, Jorge Alberto. Manual de diseño de pavimentos de concreto : para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito / Cipriano Alberto Londoño Naranjo; Jorge Alberto Alvarez Pabón; Instituto Colombiano de Productores de Cemento. – Medellín : ICPC; 2008. 114p.

CARRETERAS - CARRETERAS SECUNDARIAS - INVESTIGACIÓN - TRÁFICO - CAPACIDAD DE SERVICIO - INGENIERÍA DE TRÁNSITO - BERMAS - CAMIONES - DISEÑO DE PAVIMENTOS - ADMINISTRADORES VIALES - VÍAS - PAVIMENTOS - VOLÚMEN DE TRÁNSITO

ISBN: 978-958-97411-8-4

Editor:

INSTITUTO COLOMBIANO DE PRODUCTORES DE CEMENTO

Calle 79 A No. 7 A -24 – Tel. 571 744 04 40 – e-mail: bogota@icpc.org.co

Bogotá, Colombia

Carrera 43 A No.16 A sur 38 Ofi.1101 – Tel. 574 314 11 55 – email: medellín@icpc.org.co

Medellín, Colombia

www.icpc.org.co

Impreso en Colombia



REPÚBLICA DE COLOMBIA

MINISTERIO DE TRANSPORTE • INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS

ALVARO URIBE VÉLEZ
PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

ANDRÉS URIEL GALLEGO HENAO
MINISTRO DE TRANSPORTE

DANIEL ANDRÉS GARCÍA ARIZABALETA
DIRECTOR GENERAL INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS

GUSTAVO BUSTAMANTE MORATO
SECRETARIO GENERAL – MINISTERIO TRANSPORTE

FIDEL BOHÓRQUEZ CUARTAS
DIRECTOR DE INFRAESTRUCTURA – MINISTERIO DE TRANSPORTE

JUAN ESTEBAN GIL CHAVARRÍA
GERENTE GRANDES PROYECTOS – INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS

JUAN ESTEBAN ROMERO TORO
GERENTE DE COMPETITIVIDAD – INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS

ERNESTO DONADO POLO
SUBDIRECTOR DE APOYO TÉCNICO

ESPERANZA LEDEZMA LLOREDA
ALFONSO MONTEJO FONSECA
CAROL MURILLO FEO
REVISORES

CARLOS ALBERTO OSSA MORENO
DIRECTOR EJECUTIVO – INSTITUTO COLOMBIANO DE PRODUCTORES DE CEMENTO

ESTE DOCUMENTO FUE ELABORADO POR EL ICPC CON LA PARTICIPACIÓN DE

JORGE ALVAREZ PABÓN
CIPRIANO LONDOÑO NARANJO







Contenido

Índice de tablas

Manual de diseño
de pavimentos de concreto
para vías con bajos, medios y altos volúmenes de tránsito

Convenio Interinstitucional de Cooperación Técnica







1. Determinación del alcance de la publicación

Esta publicación es parte del esfuerzo que el Ministerio de Transporte, hace para que los ingenieros, los planificadores del desarrollo, las autoridades municipales y departamentales, los evaluadores de proyectos y en general todos los que tienen que ver con la implementación, concepción y desarrollo de la infraestructura vial, tengan herramientas confiables para escoger el pavimento más adecuado para unas condiciones específicas, en las que se incluyen muchas variables, de difícil cuantificación.

En este manual se presentarán -de la manera más clara, completa y concisa posible- las particularidades de los pavimentos de concreto, las variables que influyen en su comportamiento y, por ende, en la determinación de los espesores de las capas que lo constituyen, las características que hacen que este pavimento gane o pierda competitividad frente a otras alternativas de pavimentación y una guía para escoger las dimensiones de las losas y las propiedades del concreto.

Los pavimentos de concreto son conocidos en toda la geografía de Colombia y en su territorio se encuentran numerosos ejemplos que han prestado un servicio con muy buena calidad, durante muchos años.

Con antelación a esta publicación el INVIAS publicó los manuales para el diseño de pavimentos asfálticos de vías con bajos volúmenes de tránsito (Ref. 7.3) en primera instancia y luego el correspondiente para vías con medios y altos volúmenes de tránsito (Ref. 7.4), adicionando una actualización del primero en el 2007; se busca con esta nueva publicación ofrecerle al país otras herramientas que permitan mejorar la calidad de sus vías.

Este manual está orientado hacía el diseño de pavimentos de concreto para carreteras de diversa índole, desde caminos rurales hasta vías de primer orden. Otras aplicaciones de los pavimentos de concreto como son la pavimentación de vías urbanas, parqueaderos, patios industriales, muelles, vías para la explotación de minas o aeropuertos están por fuera del alcance de este manual.

El objetivo del manual es el de establecer un catálogo de diseño de estructuras en función de las variables más importantes que inciden en la determinación de los espesores y calidades de las capas. Ese catálogo se construye con base en los métodos de diseño más conocidos en el país como son el de la Portland Cement Association -PCA- versión 1984 (Ref. 7.20) y el de la American Association of State Highway And Transportation Officials -AASHTO- versión 1993 (Ref. 7.1).

Es posible que la información suministrada acá permita enfocar el diseño de otras aplicaciones y juiciosas modificaciones arrojen diseños bien estructurados, pero se recomienda en todo caso, buscar documentos especializados en el diseño de pavimentos de concreto para esas aplicaciones específicas no incluidas en este manual.



Consideraciones acerca de la selección de pavimentos

La Asociación Internacional Permanente de Congresos de Rutas -AIPCR- desarrolló en los años 1980 una guía para seleccionar el tipo de pavimento según las condiciones bajo las cuales se desea construir. Esa guía se actualiza permanentemente y en el año 2005 se hizo la última actualización (Ref. 7.2).

En este capítulo se mostrarán las consideraciones que plantea la guía para la correcta selección de pavimentos. Hay que recordar acá, que la gran mayoría de carreteras en el mundo no están pavimentadas y que de las que si lo están tienen en general estructuras cuya superficie de rodadura está compuesta por materiales asfálticos, bien sea un concreto asfáltico o un tratamiento superficial. Esto hace que en muchos países al momento de pavimentar se piense en una solución que incluye el concreto asfáltico.

El pavimento de concreto, como cualquier otra solución, tiene su justificación cuando la suma de los costos de construcción y mantenimiento a largo plazo, son inferiores a los de otras aplicaciones. Está demostrado que el costo de operación de los vehículos circulando sobre pavimentos de concreto es menor que el que tienen cuando circulan sobre pavimentos de asfalto (Ref. 7.17), existen estudios en los que se muestra que el consumo de combustibles es menor en los pavimentos de concreto, las distancias de frenado son más cortas (Ref. 7.25) y con ello los accidentes de tránsito son menos graves. También está demostrado que el consumo de energía para iluminar los pavimentos de concreto son menores (Ref. 7.22), lo cual a largo plazo genera ahorros que pueden ser muy importantes cuando se trata de áreas urbanas.

La competitividad de los pavimentos de concreto está dada por el costo de sus materias primas y por el de las demás alternativas, las materias primas que más influyen en la competitividad de una u otra solución son los costos del cemento, del asfalto, de los agregados, de los equipos y como se dijo en el párrafo anterior, el costo del mantenimiento a lo largo de su vida útil.

En la selección de un tipo de pavimento están involucradas muchas personas con capacidad de influenciar una decisión, por lo tanto, la escogencia de una solución en particular debe nacer del consenso de los involucrados en dicha elección, entre los que están: las autoridades municipales, departamentales o nacionales, los constructores, los diseñadores, los interventores y en algunos casos los mismos usuarios.

2.1 Elementos para la elección de pavimentos de concreto

La selección del tipo de pavimento está determinada por muchas variables entre las que están los criterios técnicos, los factores económicos del país o de la zona, de las fuentes de materiales, su idoneidad y distancia de acarreo, ahorros en energía, materiales y otros que en determinadas ocasiones pueden inclinar la decisión hacia un pavimento, como pueden ser las condiciones ambientales o la disponibilidad de equipos y de mano de obra.

Desde el punto de vista de la competitividad y de alcanzar mejores ofertas económicas, siempre será deseable mantener el máximo número posible de tipos de pavimentos ya que eso mantiene al día, técnica y económicamente hablando, los sistemas constructivos y evita que en determinadas ocasiones se pueda presentar una parálisis en la construcción de obras, si llegase a faltar un insumo de la construcción.

Hay condiciones que favorecen la utilización de un tipo de pavimento, otras que le quitan posibilidades por lo que en cada obra se debe sopesar la pertinencia de una solución en particular.

A continuación se enumeraran las variables que influyen en la elección del tipo de pavimento:

2.1.1 Aspectos técnicos

2.1.1.1 Ventajas e inconvenientes de los pavimentos de concreto

La característica que identifica los pavimentos de concreto y de la cual derivan buena parte de sus propiedades y ventajas es su alta rigidez, por la cual le trasmiten al suelo, las cargas y esfuerzos en áreas muy grandes. Esta característica hace que con frecuencia los costos de construcción compitan con los de otras alternativas cuando el suelo tiene baja capacidad de soporte o cuando se trata de vías con tráfico pesado o intenso, además de carreteras con tráfico muy bajo, en las cuales el pavimento de concreto se puede construir sobre el suelo sin interposición de una capa de material de soporte.

Los pavimentos de concreto ofrecen una alta resistencia al desgaste, no se ahuellan en ninguna dirección, y cuando las losas tienen menos de 5 m de longitud el efecto de la temperatura en los esfuerzos es despreciable (Ref. 7.15).

En su contra está que la presencia de juntas y la alta rigidez hacen que cuando se construyen sobre materiales erosionables se de el fenómeno del bombeo que ocurre por la acción conjunta del paso de los vehículos y del agua, sobretodo, cuando las vías están destinadas a tránsitos medios y altos. El deterioro se puede atenuar y aun controlar cambiando el material de soporte de las losas, con una buena concepción de juntas y dotándolas de barras de transferencia de carga de acero liso (dovelas) e implementando un buen sistema de drenaje.

Es necesario en este punto advertir que los pavimentos de concreto son muy sensibles al sub-diseño, o a la presencia de sobrecargas no contempladas en el estudio del tránsito. Por el contrario un aumento en el espesor de diseño, de uno o dos centímetros proporciona una buena protección con relación a eventuales sobrecargas y pueden llegar a duplicar la vida útil del pavimento.

Una característica de las estructuras de los pavimentos de concreto es que se construyen en una sola etapa , lo cual hace que no exista incertidumbre sobre su comportamiento a largo plazo, pues no necesita sobrecapas rutinarias, para mantener un adecuado nivel de servicio

2.1.1.2 Calidad de los agregados

En los pavimentos de concreto se puede utilizar una gama muy amplia de agregados y arenas, si cumplen con unas condiciones mínimas que están relacionadas en especial, con la granulometría (E-123-07) y con el contenido de arcilla (E-124-07) (Ref. 7.5).

Los pavimentos de concreto se pueden construir con agregados calizos blandos, siempre y cuando se utilicen arenas de origen silíceo o aplicando en la superficie del concreto, cuando está fresco aun, un recubrimiento delgado de un material con mayor resistencia, tales como los agregados silíceos, de cuarzo o en algunos casos especiales, aun las fibras metálicas.

La experiencia que existe en muchos países indica que se pueden alcanzar buenas resistencias y pavimentos de concreto con buena calidad utilizando agregados extraídos de las zonas aledañas a los ríos, para su utilización se deben hacer ensayos cualitativos que permitan establecer si se alcanzan los niveles de resistencia establecidos en el diseño.

2.1.1.3 Subrasante clima

Los pavimentos de concreto son menos sensibles a la capacidad de soporte del suelo y a las condiciones climáticas que otros tipos de pavimentos; donde son más competitivos los pavimentos de concreto es sobre los suelos con baja capacidad de soporte debido a que los esfuerzos los distribuye en áreas muy grandes con lo que las solicitaciones que llegan al suelo son bajas.

Algunos suelos con baja capacidad de soporte obligan a tener cuidados en el diseño y en la construcción, cuando se encuentren áreas en las que debido a la compresibilidad y heterogeneidad se deforman con asentamientos diferenciales de baja longitud de onda.

Cuando el pavimento está destinado a zonas en las que la temperatura es alta, los pavimentos de concreto tienen la ventaja de que no se deforman bajo la circulación de las cargas pesadas y si las dimensiones de las losas están dentro de unos límites razonables, los movimientos de las juntas son de poca monta.

2.1.2 Aspectos económicos

2.1.2.1 Costos de construcción y conservación

La mejor técnica para escoger pavimentos es aquella en la que se tienen en cuenta los costos de construcción, los de mantenimiento, los de operación de los vehículos, las condiciones locales para la producción de los insumos, las políticas sobre utilización de mano de obra capacitada o no, la disponibilidad de equipos o de algún insumo en particular y de otros criterios que dependen de las condiciones particulares.

Un análisis sobre todo lo mencionado en el párrafo anterior está por fuera del alcance de este manual, sin embargo al final se darán algunas guías que permitan definir con una buena aproximación los costos de construcción y los de mantenimiento rutinario.

Una de las dificultades que tiene la comparación de costos entre diferentes pavimentos radica en que la vida útil de ambas alternativas es diferente, mientras que para los de cobertura asfáltica puede ser tan reducida como cinco años, la de los de concreto puede llegar a ser hasta de 50 años.

Los costos de mantenimiento dependerán de la solidez de la estructura en el momento de la construcción y son más altos cuando el pavimento tiene una estructura débil. Un punto a resaltar es que no existen generalizaciones en el tema de la comparación de alternativas de pavimentación.

Está a favor de los pavimentos de concreto lo que tiene que ver con su longevidad y bajos costos de mantenimiento, siempre y cuando, como sucede también con cualquier obra, estén correctamente concebidos y bien construidos, pues de lo contrario pueden resultar pavimentos que demanden reparaciones costosas y difíciles de ejecutar.

Una ventaja para los usuarios, derivada de lo anterior, está en que son escasos los cierres para acometer las reparaciones, lo cual mantiene constantes los costos de operación y permite tener certeza en la disponibilidad del servicio.

2.1.3 Otros factores

Favorecen la selección de los pavimentos de concreto la disponibilidad de la mano de obra, sobre todo durante la construcción de pavimentos para vías secundarias o terciarias, que por sus características se pueden construir con medios muy sencillos, con equipos simples, herramientas de fácil consecución y con uso intenso de mano de obra con baja capacitación. Estas características permiten la rápida constitución de empresas de construcción en prácticamente cualquier lugar.

Un factor a tener en cuenta es la financiación de las obras, cuando se consiguen recursos para construcción, pero no para mantenimiento, se deben preferir los pavimentos de concreto a los de asfalto. También resultan económicos los pavimentos de concreto cuando se consiguen recursos con bajos intereses, cuando estos suben son más adecuados los pavimentos de asfalto, dado que se pueden diferir las inversiones a otros momentos.

En las zonas en donde se esperen altas temperaturas, o derrames de combustibles, se deben preferir los pavimentos de concreto pues esas condiciones afectan en menor escala su desempeño, respecto de los pavimentos de cobertura asfáltica.



Definición de variables

Los pavimentos se diseñan y construyen con el objetivo de prestar el servicio para el cual fue concebido, durante un periodo determinado, manteniendo unas condiciones de seguridad óptimas, con un costo apropiado.

En el diseño del pavimento es necesario tener en cuenta varios elementos, de los cuales los más importantes son la capacidad de soporte del suelo, el tránsito que circulará sobre la estructura durante todo su periodo de diseño, las condiciones climáticas y los materiales con que se construirá

Se presenta de manera sucinta la descripción de cada una de las variables que fueron tenidas en cuenta en los análisis para la elaboración del catálogo de estructuras y que es ampliada en forma detallada en el compendio de anexos al presente manual.

3.1 El tránsito y el período de diseño

Las categorías de tránsito que se tuvieron en cuenta para los diseños de los pavimentos se indican en la Tabla 3-1, la cual se obtuvo a partir de los espectros de carga obtenidos con la distribución de pesos para los diferentes tipos de eje por cada 1.000 camiones, en diferentes estaciones de peaje en el país (Ref. 7.6), afectados por los respectivos factores de equivalencia establecidos por la AASHTO.

El Tipo de vía, se refiere a la clasificación de ella según su importancia, como se menciona en los anexos.

El “TPDs” es el promedio diario, obtenido de un conteo de una semana, de los vehículos que pasan por una sección de la vía (Ref. 7.13).

Por último los ejes acumulados de 8,2 ton, son los ejes equivalentes que han de pasar por el carril de diseño durante el período de diseño, el detalle de la forma como se obtuvieron los valores indicados en la tabla se puede consultar en los anexos.

En este manual se considera un periodo de diseño de 20 años para todos los análisis estructurales, el cual bajo premisas teóricas debe coincidir como mínimo con la vida útil del pavimento, en el caso que exista una buena certidumbre en el análisis de las variables de diseño y su respectiva proyección.

Categoría	Tipo de Vía	TPDs	Ejes acumulados de 8.2 t
T_O	(Vt) – (E)	0 a 200	< 1´000.000
T1	(Vs) – (M ó A) – (CC)	201 a 500	1´000.000 a 1´500.000
T2	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	501 a 1.000	1´500.000 a 5´000.000
T3	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	1.001 a 2.500	5´000.000 a 9´000.000
T4	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	2.501 a 5.000	9´000.000 a 17´000.000
T5	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	5.001 a 10.000	17´000.000 a 25´000.000
T6	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	Más de 10.001	25´000.000 a 100´000.000

Tabla 3-1. Categorías de tránsito para la selección de espesores

En la Tabla 3-1 las siglas tienen el siguiente significado:	**M:** Medias
Vt: Vía terciaria	**A:** Anchas
Vs: Vía secundaria	**CC:** Carreteras de 2 direcciones
Vp: Vía principal	**MC:** Carreteras multicarriles
E: Estrechas	**AP:** Autopistas

3.2 La subrasante

Para el diseño del pavimento, en éste manual, se tendrán cinco clases de suelo tal y como se indica en la Tabla 3-2, en la cual, la clasificación se hace con base en la Relación de Soporte de California del suelo -CBR- evaluada según la Norma INVE-148-07, estos valores se correlacionaron con el Módulo de Reacción de la subrasante -k- que es el parámetro usado en las ecuaciones de diseño (Ref. 7.10). En el capítulo 2 de los anexos se realiza un amplia descripción sobre las características físicas y mecánicas de los distintos tipos de suelos y materiales que se interpretan en el rango o clasificación del tipo de suelo.

Para subrasantes con CBR menores que 2, en la mayoría de los casos y cuando el diseñador lo considere conveniente, se requieren tratamientos especiales, como la sustitución de los materiales inadecuados (remoción parcial o total del material inaceptable) o la modificación de sus características con base en mejoramientos mecánicos o con la adición de productos como la cal, el cemento u otros que doten a la subrasante de mejores características mecánicas. (Artículo INV-230-07).

3.3 Material de soporte para el pavimento

En este manual se tendrán en cuenta tres tipos de soporte para el pavimento, como se indica en la Tabla 3-3, el suelo natural, las bases granulares (Artículo INV-330-07) y las bases estabilizadas con cemento (Artículo INV-341-07), de 150 mm de espesor. Su efecto en el espesor de la estructura se tendrá en cuenta elevando el valor de la capacidad de soporte del terreno natural o suelo de subrasante.

3.4 Características del concreto para pavimentos

Para los diseños de los pavimentos se escogieron 4 calidades de concreto según lo indicado en la Tabla 3-4, las resistencias a la flexotracción se evalúan a los 28 días y se miden con base en el ensayo Resistencia a la flexión del concreto. Método de la viga simple cargada en los tercios de la luz (Norma INV E414-07).

Clase o Tipo	CBR (%)	Módulo resiliente (kg/cm^2)
S1	< 2	< 200
S2	2 - 5	200 – 500
S3	5 - 10	500 – 1.000
S4	20 - 10	1.000 – 2.000
S5	> 20	> 2.000

Tabla 3-2. Clasificación de la subrasante de acuerdo con su resistencia.

Denominación	Descripción
SN	Subrasante Natural
BG	Base Granular
BEC	Base Estabilizada con Cemento

Tabla 3-3. Clasificación de los materiales de soporte para el pavimento de concreto.

Descripción	Resistencia a la flexión (kg/cm^2)
MR1	38
MR2	40
MR3	42
MR4	45

Tabla 3-4. Valores de resistencias a la flexotracción del concreto (Módulo de rotura).

3.5 Juntas

Las juntas son parte importante de los pavimentos de concreto y se hacen con el fin de controlar los esfuerzos que se presentan en el concreto como consecuencia de los movimientos de contracción y de dilatación del material y a los cambios de temperatura y humedad, entre la cara superficial y la de soporte de las losas de concreto (Ref. 7.15 y Ref. 7.16).

En principio las losas tendrán el ancho del carril y su longitud debe estar comprendida entre 3,60 y 5,0 m y la relación entre el largo y ancho de las losas debe oscilar entre 1 y 1,3. Se ha observado que losas cuadradas tienen un mejor comportamiento estructural.

3.6 Transferencia de cargas entre losas y confinamiento lateral

Hay dos factores que influyen en la determinación del espesor de las losas de concreto y son la presencia de pasadores de carga (dovelas) en las juntas transversales y los confinamientos laterales del pavimento, como son las bermas, los bordillos o los andenes, en el manual se identificaran con las siglas indicadas en la Tabla 3-5.

En este manual se presenta el espesor que deben tener los pavimentos en función de la presencia o ausencia de las dovelas y de los elementos confinantes, que para efectos prácticos se denominan genéricamente como bermas.

Hay que tener en cuenta que para algunas condiciones de mala calidad en el soporte o tránsitos altos no se consideran ciertos tipos de pavimentos, como por ejemplo pavimentos sin bermas y sin dovelas.

En este manual no se contempla el uso de acero para reforzar las losas, solo se tendrá acero en las dovelas y en las barras de anclaje. El acero de las dovelas en las juntas transversales es liso y con diámetros de más de 15 mm y el de las barras de anclajes es corrugado y con diámetros menores a los 15 mm.

3.7 Resumen de variables consideradas en el diseño

En resumen las variables con las que se realizaron los diferentes diseños se indican en la Tabla 3-6. En la tabla la abreviatura EALS se refiere a la abreviatura de Equivalent Axels Load System o, el número de cargas ejercidas por ejes equivalentes de 8,2 toneladas en el periodo de diseño.

Denominación	Descripción
D	Dovelas
B	Bermas
No D	No Dovelas
No B	No Bermas

Tabla 3-5. Denominación del sistema de transferencia de cargas y confinamiento lateral

Variables y su representación				
Suelos	Tránsito	Transferencia y confinamiento	Soporte	Concreto
S1 (CBR<2)	**T0** (EALS <$1x10^{6}$)	**D y B** (Dovelas y Bermas)	**SN** (Subrasante)	**MR1**=38 MPa
S2 (2<CBR<5)	**T1** ($1x10^{6}$<EALS <$1,5x10^{6}$)	**D y No B** (Dovelas y No Bermas)	**BG** (15 cm BG)	**MR2**=40 MPa
S3 (5<CBR<10)	**T2** ($1,5x10^{6}$<EALS <$5x10^{6}$)	**No D y B** (No Dovelas y Bermas)	**BEC** (15 cm BEC)	**MR3**=42 MPa
S4 (10<CBR<20)	**T3** ($5x10^{6}$<EALS <$9x10^{6}$)	**No D y No B** (No Dovelas y No Bermas)		**MR4**=45 Mpa
S5 (CBR>20)	**T4** ($9x10^{6}$<EALS <$17x10^{6}$)			
	T5 ($17x10^{6}$<EALS <$25x10^{6}$)			
	T6 ($25x10^{6}$<EALS <$100x10^{6}$)			

Tabla 3-6. Variables consideradas en los análisis de diseño del pavimento

En donde:	
Si: “Clase de suelo con i variando desde 1 hasta 5”	**BG**: “Base granular”
Ti: “Clase de tránsito con i variando desde 0 hasta 6	**BEC**: “Base estabilizada con cemento”
D: “Dovelas”	**CBR**: “Relación de soporte de California”
B: “Bermas”	**EALS**: Ejes equivalentes definidos con el procedimiento “Equivalent Axels Load System”
SN: “Suelo natural o subrasante”	



Metodología de diseño

En Colombia los métodos de diseño para los pavimentos de concreto más utilizados son los propuestos por la AASHTO en 1993 y la PCA en 1984. Ambos métodos tienen características distintas y los espesores calculados con ellos, para condiciones similares, pueden ser diferentes, pese a lo anterior, se siguieron las recomendaciones de los dos métodos para la elaboración de las cartas de diseño que se proponen en el catálogo de estructuras.

Los espesores registrados en las Tablas 4-1 a la Tabla 4-7 son el resultado del análisis de más de 70.000 diseños, obtenidos a partir de las metodologías presentadas por la PCA´84 y la AASHTO´93 los cuales se analizaron para seleccionar el abanico de 1.680 estructuras que conforman este manual y que se esquematizan acorde a la figura 4.1.

Las dimensiones de las estructuras propuestas, se obtuvieron al analizar el espectro gráfico de los resultados comparativos entre las metodologías de diseño. Durante el análisis estructural, además de sus resultados, se tuvo en cuenta la tradición nacional, se desecharon aquellos que tenían espesores muy reducidos por considerarlos frágiles y por el otro lado se desecharon los que mostraban valores superiores a 30 cm, dejando para estos casos que el diseñador de los pavimentos recurra a otras fuentes de información.

Los resultados se presentan tabulados en función de las variables seleccionadas y la selección del espesor se hace seleccionando en primer lugar el tránsito (T#), luego se escoge el tipo de suelo (S#) a partir de la capacidad de soporte de la subrasante, a continuación se define si el pavimento tendrá dovelas (D) o no (ND) y bermas laterales (B) o (NB), hasta este punto los datos se presentan en las columnas.

Luego se escoge el tipo de soporte sobre el que se desea construir el pavimento (SN, BG, o BEC) y finalmente se escoge la calidad del concreto (MR#) y en la casilla en donde coincidan todas las variables escogidas se lee el espesor en centímetros, que debe tener la losa, que cumple con las condiciones fijadas.

Dado que los parámetros de calificación del estado superficial del pavimento no se contemplan específicamente en las metodologías de diseño, se espera que al final de su construcción se cumpla con todos los requerimientos exigidos para el recibo de las obras contemplados en los términos de referencia de los contratos.

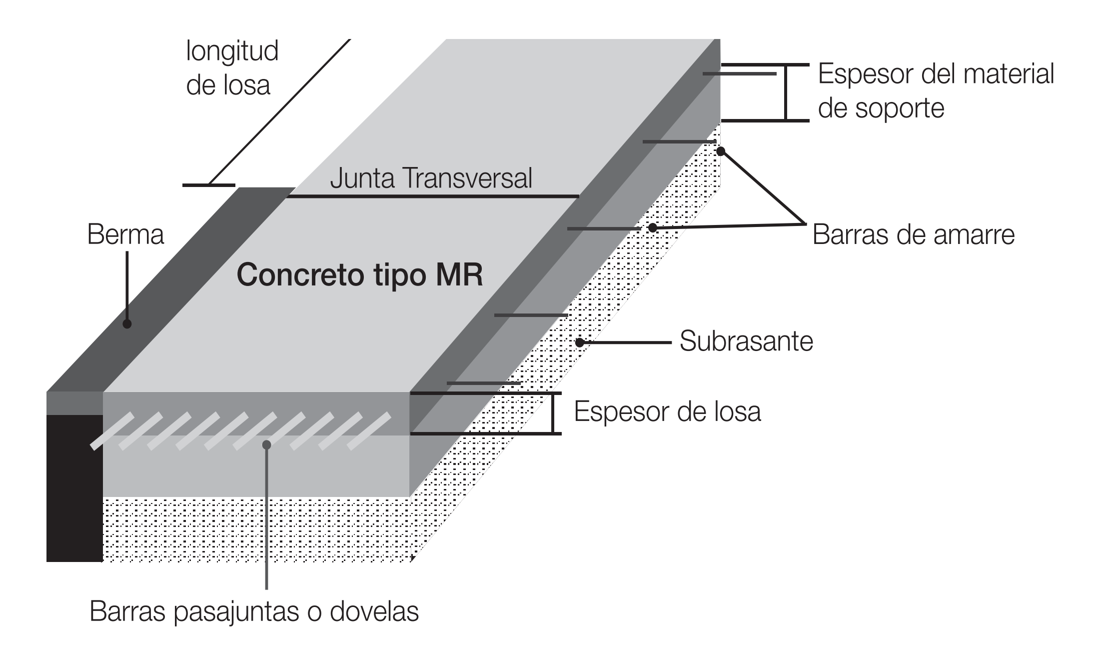


Figura 4.1. Esquema representativo de un pavimento de concreto

ESPESORES DE LOSA DE CONCRETO (cm) DE ACUERDO CON LA COMBINACIÓN DE VARIABLES																					
		Tránsito T0																			
		S1				S2				S3				S4				S5			
		D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B
SN	MR1			24	28	23	27	23	27	21	24	21	24	20	24	20	24	20	23	20	23
	MR2			23	27	22	26	22	26	20	24	20	24	20	23	20	23	19	22	19	22
	MR3			23	26	21	25	21	25	20	23	20	23	19	22	19	22	19	22	19	22
	MR4			21	24	20	24	20	24	19	22	19	22	18	21	18	21	18	21	18	21
BG	MR1			23	26	22	26	22	26	21	24	21	24	20	23	20	23	20	23	20	23
	MR2			22	25	21	25	21	25	20	23	20	23	19	22	19	22	19	22	19	22
	MR3			21	24	20	24	20	24	29	22	19	22	19	22	19	22	18	21	18	21
	MR4			20	23	19	23	19	23	28	21	18	21	18	21	18	21	17	20	18	20
BEC	MR1			20	23	19	22	19	22	18	21	18	21	18	20	18	20	17	20	17	20
	MR2			19	22	19	21	19	21	17	20	17	20	17	20	17	20	17	19	17	19
	MR3			18	21	18	21	18	21	17	19	17	19	16	19	17	19	16	19	17	19
	MR4			18	20	17	20	18	20	16	19	17	19	16	18	17	18	15	18	17	18

Tabla 4-1. Espesores de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables y T0 como factor principal

ESPESORES DE LOSA DE CONCRETO (cm) DE ACUERDO CON LA COMBINACIÓN DE VARIABLES

Tránsito T1

		S1				S2				S3				S4				S5			
		D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B
SN	MR1			24	28	23	27	23	27	21	25	21	25	21	24	21	24	20	23	20	23
	MR2			23	27	22	26	22	26	21	24	21	24	20	23	20	23	20	23	20	23
	MR3			22	26	22	25	22	25	20	23	20	23	19	22	19	22	19	22	19	22
	MR4			20	25	21	24	21	24	19	22	19	22	18	21	19	21	18	21	19	21
BG	MR1			23	26	22	26	22	26	21	24	21	24	20	24	20	24	20	23	20	23
	MR2			22	26	22	25	22	25	20	23	20	23	20	23	20	23	19	22	19	22
	MR3			21	25	21	24	21	24	19	23	19	23	19	22	19	22	19	22	19	22
	MR4			20	24	20	23	20	23	18	22	19	22	18	21	19	21	18	21	19	21
BEC	MR1			20	23	20	23	20	23	18	21	18	21	18	21	18	21	18	20	18	20
	MR2			19	22	19	22	19	22	18	20	18	20	17	20	18	20	17	20	18	19
	MR3			19	22	18	21	19	21	17	20	18	20	17	19	18	19	16	19	18	19
	MR4			19	21	17	20	19	20	16	19	18	19	16	18	18	19	15	18	18	18

Tabla 4-2. Espesores de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables y T1 como factor principal

ESPESORES DE LOSA DE CONCRETO (cm) DE ACUERDO CON LA COMBINACIÓN DE VARIABLES

Tránsito T2

		S1				S2				S3				S4				S5			
		D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B
SN	MR1	25	29	25	29	24	28	24	28	22	26	22	26	22	25	22	25	21	25	22	25
	MR2	24	28	25	28	24	27	24	27	22	25	22	25	21	24	22	24	21	24	22	24
	MR3	24	27	25	27	24	28	26	28	21	24	22	24	20	23	22	23	20	23	22	23
	MR4	22	26	25	26	23	27	26	27	20	23	22	24	19	22	22	23	19	22	22	23
BG	MR1	24	28	24	28	23	27	23	27	22	25	22	25	21	25	22	25	21	24	21	24
	MR2	23	27	23	27	23	26	23	26	21	24	22	24	21	24	22	24	20	23	21	23
	MR3	22	26	23	26	23	27	25	27	20	24	22	24	20	23	22	23	20	23	21	23
	MR4	21	25	23	25	22	26	25	26	19	23	22	23	19	22	22	23	19	22	21	23
BEC	MR1	21	24	21	24	21	24	21	24	19	22	21	22	19	22	20	22	19	21	20	22
	MR2	20	23	21	23	20	23	21	23	19	21	21	22	18	21	20	22	18	20	20	22
	MR3	19	23	21	23	20	23	23	24	18	21	21	22	18	20	20	22	17	20	20	22
	MR4	18	22	21	23	19	22	23	24	17	20	21	22	17	19	20	22	17	19	20	22

Tabla 4-3. Espesores de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables y T2 como factor principal

ESPESORES DE LOSA DE CONCRETO (cm) DE ACUERDO CON LA COMBINACIÓN DE VARIABLES																					
		Tránsito T3																			
		S1				S2				S3				S4				S5			
		D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B
SN	MR1	29	34	31		28	32	30		26	30	27	30	25	29	26	29	24	28	26	28
	MR2	28	32	31		27	31	30		25	29	27	29	24	28	26	28	24	27	26	27
	MR3	27	31	31		26	30	30		24	28	27	28	23	27	26	28	23	26	26	27
	MR4	26	30	31		25	29	30		23	26	27	28	22	25	26	28	22	25	26	27
BG	MR1	27	32	29		27	31	28		25	29	26	29	24	28	26	27	24	28	25	28
	MR2	26	31	29		26	30	28		24	28	26	28	24	27	26	27	23	27	25	27
	MR3	26	30	29		25	29	28		23	27	26	28	23	26	26	27	22	26	25	27
	MR4	24	28	29		24	27	28		22	26	26	28	22	25	26	27	21	25	25	27
BEC	MR1	24	28	25	28	24	27	25	27	22	25	24	26	22	25	24	25	21	24	23	25
	MR2	23	27	25	27	23	26	25	26	21	24	24	26	21	24	24	25	21	23	23	25
	MR3	22	26	25	27	22	25	25	26	21	24	24	26	20	23	24	25	20	23	23	25
	MR4	21	24	25	27	21	24	25	26	20	22	24	26	20	22	24	25	19	22	23	25

Tabla 4-4. Espesores de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables y T3 como factor principal

ESPESORES DE LOSA DE CONCRETO (cm) DE ACUERDO CON LA COMBINACIÓN DE VARIABLES																					
		Tránsito T4																			
		S1				S2				S3				S4				S5			
		D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B
SN	MR1	30				29				26	30	29		26	29	28	30	25	29	27	30
	MR2	29				28				25	29	29		25	28	28	30	24	28	27	30
	MR3	28				27				25	28	29		24	27	28	30	23	27	27	30
	MR4	26	30			25	29			23	27	29		23	26	28	30	22	26	27	30
BG	MR1	28				28				26	30	28	30	25	29	28	30	25	28	27	29
	MR2	27				27				25	29	28	30	24	28	28	30	24	27	27	29
	MR3	26				26	30			24	28	28	30	23	27	28	30	23	26	27	29
	MR4	25	29			24	28			23	26	28	30	22	26	28	30	22	25	27	29
BEC	MR1	25	28			24	28	27	29	23	26	26	28	22	25	25	27	22	25	25	27
	MR2	24	27			23	27	27	29	22	25	26	28	21	24	25	27	21	24	25	27
	MR3	23	26			22	26	27	29	21	24	26	28	21	24	25	27	21	23	25	27
	MR4	22	25			22	25	27	29	21	24	26	28	21	24	25	27	21	23	25	27

Tabla 4-5. Espesores de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables y T4 como factor principal

ESPESORES DE LOSA DE CONCRETO (cm) DE ACUERDO CON LA COMBINACIÓN DE VARIABLES

		Tránsito T5																			
		S1				S2				S3				S4				S5			
		D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B
SN	MR1	30				29				27		30		26	30	29		25	29	29	
	MR2	29				28				26	30	30		25	29	29		24	28	29	
	MR3	28				27				25	29	30		24	28	29		24	27	29	
	MR4	27				26	30			24	27	30		23	26	29		23	26	29	
BG	MR1	29				28				26	30	29		25	29	29		25	29	28	
	MR2	28				27				25	29	29		25	28	29		24	28	28	
	MR3	27				26				24	28	29		24	27	29		23	27	28	
	MR4	25	29			25	29			24	27	29		23	26	29		23	26	28	
BEC	MR1	25	29	28		25	28	28	30	23	26	27	29	23	26	26	29	22	25	26	28
	MR2	24	28	28		24	27	28	30	22	25	27	29	22	25	26	29	21	24	26	28
	MR3	23	27	28		23	26	28	30	22	25	27	29	21	25	26	29	21	24	26	28
	MR4	23	25	28		23	25	28	30	22	25	27	29	21	25	26	29	21	24	26	28

Tabla 4-6. Espesores de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables y T5 como factor principal

ESPESORES DE LOSA DE CONCRETO (cm) DE ACUERDO CON LA COMBINACIÓN DE VARIABLES

		Tránsito T6																			
		S1				S2				S3				S4				S5			
		D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B
SN	MR1	32								28				27				27	30		
	MR2	30				29				27				26	30			26	30		
	MR3	30				29				27	30			26	30			26	30		
	MR4	30				29				27	30			26	30			26	30		
BG	MR1	30				29				27				27				26	30		
	MR2	29				28				26	30			26	30			25	29		
	MR3	29				28				26	30			26	30			25	29		
	MR4	29				28				26	30			26	30			25	29		
BEC	MR1	26	30			26	29			24	29			24		29		24	28	29	
	MR2	25	29			25	29			24	29			24	28	29		24	28	29	
	MR3	25	29			25	29			24	29			24	28	29		24	28	29	
	MR4	25	29			25	29			24	29			24	28	29		24	28	29	

Tabla 4-7. Espesores de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables y T6 como factor principal

4.1 Ejemplo con el catálogo de estructuras

Como ejemplo para la elección de una estructura se describirán los pasos a seguir con la información de un proyecto particular de pavimentación: (Se recomienda leer con detenimiento los anexos, previo a la revisión del presente ejemplo).

1. Información Básica (supuesta):
   - Suelos de subrasante: Limos arcillosos de baja compresibilidad ML – A-4
   - Tráfico: Tpd: 1153
     - (Autos 43% - Buses 30% - Camiones 27%)
     - (2p: 8% - 2g: 6% - 3:6% - 3S2: 4% - 3S3: 3%)
   - Periodo de Diseño: 20 años
   - Crecimiento anual del tránsito del 2 %
   - Se solicitan concretos con módulos entre 42 - 44 kg/cm^2
   - Se trata de una vía de dos carriles
2. Variables de diseño a partir de la información básica: (Debe comprobarse con los datos reales del proyecto)
   - De acuerdo con las correlaciones de suelos un ML tiene un CBR entre 5% y 15%; por efectos conservadores se escoge en el rango inferior CBR=7% que equivale a un S3.
   - De acuerdo con los análisis del tráfico en el periodo de diseño mediante teorías de proyección, el tránsito futuro se encuentra en el rango de T4 (9E6<EALS<17E6).
   - Dada la condición de alto volumen de tráfico comercial en cuantía y frecuencia, se proyecta un pavimento de concreto con transferencia de cargas con dovelas y con bermas como confinamientos laterales D y B.
   - Concretos con alta resistencia y durabilidad encajan los MR = 42 kg/cm^2 o MR = 44 kg/cm^2.
3. Con estas suposiciones (T4 – S3 – DyB – MR4) iniciales puede dar elección de la estructura deseada.
   - Para T4 se observa la Tabla 4.8. Espesores de losa de concreto (cm) de acuerdo a la combinación de variables y T4 como factor principal. Se registran las alternativas existentes para los demás parámetros (S3 – DyB - MR).

ESPESORES DE LOSA DE CONCRETO (cm) DE ACUERDO CON LA COMBINACIÓN DE VARIABLES																					
		Tránsito T4																			
		S1				S2				S3				S4				S5			
		D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B
SN	MR1	30				29				26	30	29		26	29	28	30	25	29	27	30
	MR2	29				28				25	29	29		25	28	28	30	24	28	27	30
	MR3	28				27				25	28	29		24	27	28	30	23	27	27	30
	MR4	26	30			25	29			23	27	29		23	26	28	30	22	26	27	30
BG	MR1	28				28				26	30	28	30	25	29	28	30	25	28	27	29
	MR2	27				27				25	29	28	30	24	28	28	30	24	27	27	29
	MR3	26				26	30			24	28	28	30	23	27	28	30	23	26	27	29
	MR4	25	29			24	28			23	26	28	30	22	26	28	30	22	25	27	29
BEC	MR1	25	28			24	28	27	29	23	26	26	28	22	25	25	27	22	25	25	27
	MR2	24	27			23	27	27	29	22	25	26	28	21	24	25	27	21	24	25	27
	MR3	23	26			22	26	27	29	21	24	26	28	21	24	25	27	21	23	25	27
	MR4	22	25			22	25	27	29	21	24	26	28	21	24	25	27	21	23	25	27

Tabla 4.8. Espesores de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables y T4 como factor principal

4. Se tienen entonces las siguientes alternativas de elección de pavimento de concreto que cumple con todas las exigencias de solicitación:

Alternativa	Soporte	Resistencia (kg/cm²)	Espesor de losa (cm)	Barras transferencia[2]	Barras amarre[3]	Bermas
A1	SN	MR 42	25	ϕ=11/4" – L=45 cm e=30 cm	ϕ=1/2" – L=60 cm e=70 cm	Si
A2	SN	MR 45	23	ϕ=11/8" – L=40 cm e=30 cm	ϕ=1/2" – L=60 cm e=80 cm	Si
A3	BG 15 cm	MR 42	24	ϕ=11/4" – L=45 cm e=30 cm	ϕ=1/2" – L=60 cm e=80 cm	Si
A4	BG 15 cm	MR 45	23	ϕ=11/8" – L=40 cm e=30 cm	ϕ=1/2" – L=60 cm e=80 cm	Si
A5	BEC 15 cm	MR 42	21	ϕ=11/8" – L=40 cm e=30 cm	ϕ=1/2" – L=60 cm e=90 cm	Si
A6	BEC 15 cm	MR 45	21	ϕ=11/8" – L=40 cm e=30 cm	ϕ=1/2" – L=60 cm e=90 cm	Si

5. A estas alternativas se les realiza una evaluación económica en la que el resultado será el reflejo de un análisis (ver Capítulo 5) de las actividades de construcción de cada una de las mismas, en donde el proyectista podrá escoger la alternativa que considere más adecuada para sus fines.

6. A la alternativa final hay que completarla con un apropiado diseño geométrico de juntas[4] y la aplicación de un adecuado diseño de drenaje.

[2] Ver anexos Tabla 6.2

[3] Ver anexos Tabla 6.1

[4] Ver anexos Capítulo 6.2

5. Presupuesto

Las técnicas más modernas para el estudio de los costos de los pavimentos se basan en el concepto llamado "análisis del costo de la vida útil" (para mayor entendimiento, ver numeral 1.3.2 de los anexos) en el cual se tienen en cuenta los costos de construcción, de mantenimiento y el valor residual de la obra.

Antes de comenzar a elaborar el presupuesto es necesario tener un breve resumen de la obra, así:

- Longitud del pavimento, m (L) ______________________
- Ancho del pavimento, m (a) ______________________
- Espesor de la losa, m (e) ______________________
- Material de base ______________________
  - Ancho de la base ______________________
  - Espesor de base granular, m (eg) ______________________
  - Espesor de suelo-cemento, m (esc) ______________________

De la información anterior se sacan las cantidades de obra básica tales como volúmenes del concreto, de la base, distancias de acarreos dentro de la obra y otros datos afines.

5.1 Costos de construcción

Los costos de construcción de un pavimento están dados por la suma de los costos de realizar cada uno de los ítems que componen la obra.

Hay que tener en cuenta que los costos de las obras dependen de los métodos de construcción, de la experiencia del contratista y de los rendimientos que él alcance, de la localización geográfica de la obra, de las condiciones climáticas entre otras. En este capítulo se brindará una guía para obtener un estimativo de los costos de construcción de un proyecto de pavimentación en concreto. Además se debe recordar que las obras deben cumplir con las especificaciones vigentes que controlan su construcción.

5.1.1 Materiales y actividades de construcción

En la construcción de un pavimento de concreto están involucradas varias actividades y muchos materiales, los más importantes son:

1. El suelo de la subrasante
2. La base granular
3. La base estabilizada con cemento
4. El acero de refuerzo
5. El concreto
6. Curadores
7. Aserrado de juntas
8. Sello de juntas

5.1.2 Estimativo de los costos de construcción

Para estimar los costos de construcción es necesario conocer el costo de cada una de las actividades que es necesario emprender para realizar la obra. El costo de una obra depende de muchas variables entre las que están, la ubicación geográfica, la disponibilidad de las materias primas, las condiciones climáticas, la experiencia en la producción de un bien en particular, la disponibilidad de equipos y herramientas, la capacitación del personal, el tamaño de la obra, la facilidad de acceso a la construcción, los costos de la energía, la presencia de subsidios, etc.

A continuación se presentan unas tablas que permiten obtener una buena aproximación a la determinación de los costos de construcción.

Las cantidades referidas se deducen de las experiencias obtenidas en obras por todo el país y se indican de acuerdo a la actividad que se involucra en cada ítem de la actividad de construcción de un pavimento de concreto.

5.1.2.1 Producción de concreto en obra

ítem: Producción de concreto en obra			**Unidad: : m³**	
Equipo (1)		**Tarifa – Hora (2)**	**Rendimiento (3)**	**Valor Unitario (4)**
Mezcladora de tambor		--	4	(2) / (3)
Herramienta menor		--	4	Σ {(2) / (3)} / (5%)
Total Equipo				Σ **(4)**
Materiales (5)	**Unidad (6)**	**Costo (7)**	**Rendimiento (8)**	**Valor unitario (9)**
Cemento	kg	--	380	(7) * (8)
Grava	m^3	--	0,7	(7) * (8)
Arena	m^3	--	0,55	(7) * (8)
Agua	m^3	--	0,17	(7) * (8)
			Desperdicio (---%)	
Total Materiales				Σ (9) + Desperdicio
Mano de obra (10)	**Unidad (11)**	**Tarifa - Hora (12)**	**Rendimiento (13)**	**Valor unitario (14)**
Maestro Obra	Hora	--	1	(12) * (13)
Obreros	Hora	--	3	(12) * (13)
Total Mano Obra				Σ(14)
Subtotal (Total Equipo + Total Materiales + Total Mano Obra)				**------**
AIU (--%)				**Subtotal * (--%)**
Total				Subtotal + AIU

Tabla 5-1. Análisis del costo de producción de concreto en obra

5.1.2.2 Producción de concreto en planta – Unidad (m^3)

ítem: Producción de concreto en planta			Unidad: : m^3	
Equipo (1)		**Tarifa – Hora (2)**	**Rendimiento (3)**	**Valor Unitario (4)**
Planta mezclado central		--	20	(2) / (3)
Planta eléctrica		--	20	(2) / (3)
Compresor		--	20	(2) / (3)
Cargador		--	20	(2) / (3)
Bomba		--	20	(2) / (3)
Herramienta menor		--	20	Σ {(2) / (3)} / (5%)
Total Equipo				Σ **(4)**
Materiales (5)	**Unidad (6)**	**Costo (7)**	**Rendimiento (8)**	**Valor unitario (9)**
Cemento	kg	--	350	(7) * (8)
Grava	m^3	--	0,7	(7) * (8)
Arena	m^3	--	0,55	(7) * (8)
Agua	m^3	--	0,17	(7) * (8)
Retardante	lt	--	1,8	(7) * (8)
Inclusor de aire	lt	--	2,2	(7) * (8)
			Desperdicio (---%)	
Total Materiales				Σ (9) + Desperdicio
Mano de obra (10)	**Unidad (11)**	**Tarifa - Hora (12)**	**Rendimiento (13)**	**Valor unitario (14)**
Operador	Hora	--	1	(12) * (13)
Mecánico	Hora	--	1	(12) * (13)
Soldador	Hora	--	1	(12) * (13)
Ayudante de planta	Hora	--	1	(12) * (13)
Electricista	Hora	--	1	(12) * (13)
Obreros	Hora	--	2	(12) * (13)
Total Mano Obra				Σ (14)
Subtotal (Total Equipo + Total Materiales + Total Mano Obra)				------
AIU (--%)				**Subtotal * (--%)**
TOTAL				**Subtotal + AIU**

Tabla 5-2. Análisis del costo de producción de concreto en planta

5.1.2.3 Extendido, perfilado y vibrado con formaleta deslizante (m^3)

ítem: Extendido, perfilado y vibrado con formaleta deslizante		Unidad: : m^3		
Equipo (1)		**Tarifa – Hora (2)**	**Rendimiento (3)**	**Valor Unitario (4)**
Formaleta deslizante		--	60	(2) / (3)
Herramienta menor		--	60	Σ{(2) / (3)} / (5%)
Total Equipo				Σ **(4)**
Materiales (5)	**Unidad (6)**	**Costo (7)**	**Rendimiento (8)**	**Valor unitario (9)**
Hilos guías	Un	--	2	(7) * (8)
Barras de Transf. de carga	kg/m^3 concreto	--	7	(7) * (8)
Barras de amarre	kg/m^3 concreto	--	0,49	(7) * (8)
Acero canastilla	kg/m^3 concreto	--	1,75	(7) * (8)
Soldadura	kg/kg acero	--	0,14	(7) * (8)
			Desperdicio (---%)	
Total Materiales				Σ (9) + Desperdicio
Mano de obra (10)	**Unidad (11)**	**Tarifa - Hora (12)**	**Rendimiento (13)**	**Valor unitario (14)**
Ingeniero de Pavimentación	Hora	--	1	(11) * (13)
Operador Formaleta D	Hora	--	1	(11) * (13)
Oficial	Hora	--	1	(11) * (13)
Ayudante general	Hora	--	4	(11) * (13)
Total Mano Obra				Σ **(14)**
Subtotal (Total Equipo + Total Materiales + Total Mano Obra)				------
AIU (--%)				**Subtotal * (--%)**
TOTAL				Subtotal + AIU

Tabla 5-3. Análisis del costo del extendido, perfilado y vibrado con formaleta deslizante (m^3)

5.1.2.4 Extendido, perfilado y vibrado con rodillo vibratorio (m^3)

ítem: Extendido, perfilado y vibrado con rodillo			Unidad: : m^3	
Equipo (1)		**Tarifa – Hora (2)**	**Rendimiento (3)**	**Valor Unitario (4)**
Rodillo Vibratorio		--	20	(2) / (3)
Vibradores de punta		--	10	(2) / (3)
Compresor y Soldador		--	10	(2) / (3)
Herramienta menor		--	20	Σ{(2) / (3)} / (5%)
Total Equipo				Σ **(4)**
Materiales (5)	**Unidad (6)**	**Costo (7)**	**Rendimiento (8)**	**Valor unitario (9)**
Formaletas Metálicas	ml	--	0,31	(7) * (8)
Barras de Transf. de carga	kg/m^3 concreto	--	7	(7) * (8)
Barras de amarre	kg/m^3 concreto	--	0,49	(7) * (8)
Acero canastilla	kg/m^3 concreto	--	1,75	(7) * (8)
Soldadura	kg/kg acero	--	0,14	(7) * (8)
			Σ (9) + Desperdicio	
Total Materiales				Σ (9) + Desperdicio
Mano de obra (10)	**Unidad (11)**	**Tarifa - Hora (12)**	**Rendimiento (13)**	**Valor unitario (14)**
Ingeniero de Pavimentación	Hora	--	1	(11) * (13)
Operador de rodillo	Hora	--	1	(11) * (13)
Colocador de formaletas	Hora		4	(11) * (13)
Soldador	Hora	--	1	(11) * (13)
Oficial	Hora	--	1	(11) * (13)
Ayudante general	Hora	--	4	(11) * (13)
Total Mano Obra				Σ **(14)**
Subtotal (Total Equipo + Total Materiales + Total Mano Obra)				------
AIU (--%)				**Subtotal * (--%)**
TOTAL				Subtotal + AIU

Tabla 5-4. Análisis del costo, perfilado y vibrado con rodillo vibratorio (m^3)

5.1.2.5 Extendido, perfilado y vibrado con regla vibratoria (m^3)

ítem: Extendido, perfilado y vibrado con regla			Unidad: : m^3	
Equipo (1)		**Tarifa – Hora (2)**	**Rendimiento (3)**	**Valor Unitario (4)**
Regla Vibratoria		--	10	(2) / (3)
Vibradores de punta		--	10	(2) / (3)
Herramienta menor		--	10	Σ {(2) / (3)} / (5%)
Total Equipo				Σ **(4)**
Materiales (5)	**Unidad (6)**	**Costo (7)**	**Rendimiento (8)**	**Valor unitario (9)**
Formaletas madera - metálicas	ml	--	0,31	(7) * (8)
Barras de Transf. de carga	kg/m^3 concreto	--	7	(7) * (8)
Barras de amarre	kg/m^3 concreto	--	0,49	(7) * (8)
Acero canastilla	kg/m^3 concreto	--	1,75	(7) * (8)
Soldadura	kg/kg acero	--	0,14	(7) * (8)
			Σ(9) + Desperdicio	
Total Materiales				Σ (9) + Desperdicio
Mano de obra (10)	**Unidad (11)**	**Tarifa - Hora (12)**	**Rendimiento (13)**	**Valor unitario (14)**
Ingeniero de Pavimentación	Hora	--	1	(11) * (13)
Operador de regla	Hora	--	2	(11) * (13)
Colocador de formaletas	Hora	--	4	(11) * (13)
Soldador	Hora	--	2	(11) * (13)
Oficial	Hora	--	1	(11) * (13)
Ayudante general	Hora	--	4	(11) * (13)
Total Mano Obra				Σ **(14)**
Subtotal (Total Equipo + Total Materiales + Total Mano Obra)				------
AIU (--%)				**Subtotal * (--%)**
TOTAL				Subtotal + AIU

Tabla 5-5. Análisis del costo del extendido, perfilado y vibrado con regla vibratoria (m^3)

5.1.2.6 Texturizado y curado (m^3)

ítem: Texturizado y Curado			Unidad: : m^3	
Equipo (1)		**Tarifa – Hora (2)**	**Rendimiento (3)**	**Valor Unitario (4)**
Llanas de acabado		--	0,00005	(2) * (3)
Cepillo de texturizado		--	0,00025	(2) * (3)
Codales		--	0,00010	(2) * (3)
Herramienta menor		--	1	Σ {(2) * (3)} / (5%)
Total Equipo				Σ **(4)**
Materiales (5)	**Unidad (6)**	**Costo (7)**	**Rendimiento (8)**	**Valor unitario (9)**
Membrana de Curado	Lt	--	0,25	(7) * (8)
			Desperdicio (---%)	
Total Materiales				Σ (9) + Desperdicio
Mano de obra (10)	**Unidad (11)**	**Tarifa - Hora (12)**	**Rendimiento (13)**	**Valor unitario (14)**
Texturizador	Hora	--	1	(11) * (13)
Terminador	Hora	--	1	(11) * (13)
Hombres de piso	Hora	--	2	(11) * (13)
Total Mano Obra				Σ **(14)**
Subtotal (Total Equipo + Total Materiales + Total Mano Obra)				------
AIU (--%)				**Subtotal * (--%)**
TOTAL				**Subtotal + AIU**

Tabla 5-6. Análisis del costo del texturizado y curado (m^3)

5.1.2.7 Corte, limpieza y sello de juntas (m^3)

ítem: Corte, limpieza y sello de juntas			**Unidad: : m^3**	
Equipo (1)		**Tarifa – Hora (2)**	**Rendimiento (3)**	**Valor Unitario (4)**
Cortadora		--	60	(2) * (3)
Compresor		--	60	(2) * (3)
Bomba de agua		--	60	(2) * (3)
Bomba de silicona		--	60	(2) * (3)
Herramienta menor		--	60	Σ {(2) * (3)} / (5%)
Total Equipo				Σ **(4)**
Materiales (5)	**Unidad (6)**	**Costo (7)**	**Rendimiento (8)**	**Valor unitario (9)**
Discos de diamante				
Primer corte	Discos/m^3	--	0,0021	(7) * (8)
Segundo corte	Discos/m^3	--	0,0034	(7) * (8)
Cordón de Polipropileno	m/m^3	--	4,14	(7) * (8)
Sello de Silicona o Poliuretano	m/m^3	--	1,65	(7) * (8)
			Desperdicio (---%)	
Total Materiales				Σ (9) + Desperdicio
Mano de obra (10)	**Unidad (11)**	**Tarifa - Hora (12)**	**Rendimiento (13)**	**Valor unitario (14)**
Inspector de Corte y sello	Hora	--	1	(11) * (13)
Cortadores	Hora	--	2	(11) * (13)
Ayudantes	Hora	--	2	(11) * (13)
Lavador	Hora	--	1	(11) * (13)
Secador	Hora	--	1	(11) * (13)
Sellador	Hora	--	1	(11) * (13)
Total Mano Obra				Σ **(14)**
Subtotal (Total Equipo + Total Materiales + Total Mano Obra)				------
AIU (--%)				**Subtotal * (--%)**
TOTAL				**Subtotal + AIU**

Tabla 5-7. Análisis del costo del corte, limpieza y sello de juntas (m^3)

5.2 Costos de operación y mantenimiento

Uno de los principales factores que han incidido en el desarrollo de la aplicación del concreto hidráulico en la construcción de pavimentos, es su costo relativo. Hasta hace algunos años, el costo de construcción de los pavimentos rígidos con respecto a los flexibles era dos o hasta tres veces mayor. Actualmente los costos de ambos materiales son equiparables, si, además se realiza un análisis integral de costos, considerando los de mantenimiento y operación, se podrán identificar fácilmente aquellos casos en que es evidente la conveniencia de utilizar los pavimentos rígidos.

5.2.1 Costos de operación

Los costos de operación son aquellos que el usuario asume por emplear la vía para su tránsito. En términos generales se le atribuyen los siguientes rubros:

- Combustibles
- Reparaciones de vehículos
- Accidentes
- Muertos
- Tiempo de la vía cerrada por reparaciones
- Demoras por bajo índice de servicio, etc.

Rubros que no se han llegado a establecer de manera cercana en nuestro país, pero estadísticas de entidades multinacionales que toman parámetros de medición real, hablan que este monto puede llegar a ser hasta 100 veces el costo de construcción de la misma vía (Ref. 7.26).

5.2.2 Costos de mantenimiento

Se consideran en las evaluaciones del costo de vida útil de los pavimentos los costos de las actividades más comunes en el mantenimiento periódico de los pavimentos de concreto. La Tabla 5-8 describe las actividades en mención.

Entre las actividades de mantenimiento periódico existen múltiples aplicaciones que dependen de la patología y del estado del pavimento, en algunos casos se pueden hacer reparaciones superficiales, en otros es necesario demoler parte de las losas y cuando el deterioro es más avanzado será necesario reconstruir la losa completa.

ACTIVIDAD	FRECUENCIA
Reposición material sello de juntas	5 - 7 años
Reconstrucción del 5%, área construida mediante reparaciones parciales y totales	10 años
Demolición y reconstrucción del 5% del área construida	15 – 20 años

Tabla 5-8. Actividades y frecuencias para el mantenimiento de los pavimentos de concreto

5.2.2.1 Demolición de losas de pavimento de (m^3)

ítem: Demolición de losas de pavimento de concreto			**Unidad: : m^3**	
Equipo (1)		**Tarifa – Hora (2)**	**Rendimiento (3)**	**Valor Unitario (4)**
Retroexcavadora		--	10	(2) / (3)
Cargador		--	10	(2) / (3)
Compresor		--	10	(2) / (3)
Martillo neumático		--	10	(2) / (3)
Volqueta		--	10	(2) / (3)
Herramienta menor		--	10	Σ {(2) / (3)} / (5%)
Total Equipo				Σ **(4)**
Materiales (5)	**Unidad (6)**	**Costo (7)**	**Rendimiento (8)**	**Valor unitario (9)**
			Desperdicio (---%)	
Total Materiales				Σ (9) + Desperdicio
Total Materiales				Σ (9) + Desperdicio
Mano de obra (10)	**Unidad (11)**	**Tarifa - Hora (12)**	**Rendimiento (13)**	**Valor unitario (14)**
Ayudantes y obreros	Hora	--	3	(11) * (13)
Total Mano Obra				Σ **(14)**
Subtotal (Total Equipo + Total Materiales + Total Mano Obra)				------
AIU (--%)				**Subtotal * (--%)**
TOTAL				**Subtotal + AIU**

Tabla 5-9. Análisis del costo de la demolición de un pavimento de concreto (m^3)

5.2.2.2 Fresado de pavimentos de concreto (m³)

ítem: Fresados de losas de pavimento de concreto			Unidad: : m³	
Equipo (1)		**Tarifa – Hora (2)**	**Rendimiento (3)**	**Valor Unitario (4)**
Ranuradora-fresadora		--	50	(2) / (3)
Volqueta		--	50	(2) / (3)
Cargador		--	50	(2) / (3)
Compresor		--	50	(2) / (3)
Martillo neumático		--	50	(2) / (3)
Carrotanque		--	50	(2) / (3)
Herramienta menor		--	50	Σ {(2) / (3)} / (5%)
Total Equipo				Σ **(4)**
Materiales (5)	**Unidad (6)**	**Costo (7)**	**Rendimiento (8)**	**Valor unitario (9)**
Discos	Un	--	300	(7) * (8)
			Desperdicio (---%)	
Total Materiales				Σ (9) + Desperdicio
Mano de obra (10)	**Unidad (11)**	**Tarifa - Hora (12)**	**Rendimiento (13)**	**Valor unitario (14)**
Ayudantes y obreros	Hora	--	2	(11) * (13)
Total Mano Obra				Σ (14)
Subtotal (Total Equipo + Total Materiales + Total Mano Obra)				------
AIU (--%)				**Subtotal * (--%)**
TOTAL				**Subtotal + AIU**

Tabla 5-10. Análisis del fresado de un pavimento de concreto (m³)

5.2.2.3 Colocación de dovelas o pasajuntas

ítem: Colocación de dovelas o pasajuntas			**Unidad: : ml**	
Equipo (1)		**Tarifa – Hora (2)**	**Rendimiento (3)**	**Valor Unitario (4)**
Cortadora		--	8	(2) / (3)
Volqueta		--	8	(2) / (3)
Compresor		--	8	(2) / (3)
Martillo neumático		--	8	(2) / (3)
Carrotanque		--	8	(2) / (3)
Herramienta menor		--	8	Σ{(2) / (3)} / (5%)
Total Equipo				Σ **(4)**
Materiales (5)	**Unidad (6)**	**Costo (7)**	**Rendimiento (8)**	**Valor unitario (9)**
Discos	Un	--	300	(7) / (8)
Pasajuntas (ϕ =1" – L=35 cm – C/30 cm)	kg	--	4,18	(7) * (8)
Silletas pasajuntas	Un	--	6	(7) * (8)
Inductor de junta	Un	--	3	(7) * (8)
Pintura Anticorrosiva	lt	--	0,5	(7) * (8)
Concreto	m^3	--	0,01	(7) * (8)
			Desperdicio (---%)	
Total Materiales				Σ(9) + Desperdicio
Mano de obra (10)	**Unidad (11)**	**Tarifa - Hora (12)**	**Rendimiento (13)**	**Valor unitario (14)**
Ayudantes y obreros	Hora	--	2	(11) * (13)
Total Mano Obra				Σ **(14)**
Subtotal (Total Equipo + Total Materiales + Total Mano Obra)				------
AIU (--%)				**Subtotal * (--%)**
TOTAL				**Subtotal + AIU**

Tabla 5-11. Análisis del costo de colocación de las dovelas

5.2.2.4 Reposición de sellos (m)

ítem: Reposición de sellos			**Unidad: : ml**	
Equipo (1)		**Tarifa – Hora (2)**	**Rendimiento (3)**	**Valor Unitario (4)**
Compresor Aire		--	40	(2) / (3)
Compresor Agua		--	40	(2) / (3)
Cortadora		--	40	(2) / (3)
Herramienta menor		--	40	Σ{(2) / (3)} / (5%)
Total Equipo				Σ **(4)**
Materiales (5)	**Unidad (6)**	**Costo (7)**	**Rendimiento (8)**	**Valor unitario (9)**
Silicona	Lt	--	14	(7) / (8)
Disco cortadora	Un	--	300	(7) / (8)
Baker road	m	--	0.33	(7) * (8)
			Desperdicio (---%)	
Total Materiales				∑ (9) + Desperdicio
Mano de obra (10)	**Unidad (11)**	**Tarifa - Hora (12)**	**Rendimiento (13)**	**Valor unitario (14)**
Levantador de sello	Hora	--	300	(11) / (13)
Operador cortadora	Hora	--	300	(11) / (13)
Operador compresor	Hora	--	300	(11) / (13)
Colocadores de sello	Hora	--	300	(11) / (13)
Total Mano Obra				Σ **(14)**
Subtotal (Total Equipo + Total Materiales + Total Mano Obra)				------
AIU (--%)				**Subtotal * (--%)**
TOTAL				Subtotal + AIU

Tabla 5-12. Análisis del costo de reposición de sellos (m)

Descripción de la obra:

Longitud del pavimento, m (L) -Ancho del pavimento, m (a) - Espesor de la losa, m (e) - Material de base: Espesor de base granular, m (eg) - Espesor de suelo-cemento, m (esc)

Cálculo de materias primas:

- **Para el concreto:**

Volumen de concreto V_c = L x a x e = ___________ m^3

Número de tandas N_T = = ______________ tandas

- **Peso de los materiales:**

Kilos de cemento: $P_c = N_T$ x 50 = ______________ kilos

Kilos de arena: $P_a = N_T$ x 100 = _______________ kilos

Kilos de grava: $P_g = N_T$ x 200 = _______________ kilos

Kilos de agua: $P_{ag} = N_T$ x 25 = ________________ kilos

- **Para la base de suelo-cemento:**

Volumen de suelo-cemento = V_{bsc} = L x (a + 0,5) x esc = ______________ m^3

Número de tandas NTb = =_____________ tandas

- **Peso de los materiales:**

Kilos de cemento para la base: $P_{cb} = N_{Tb}$ x 50

Kilos de agua para la base: $P_{agb} = N_{Tb}$ x 50

- **Para la base granular:**

Volumen de grava = V_{bg} = L x (a + 0,5) x eg =_____ m^3

6. Consideraciones sobre pavimentos especiales

En Colombia se tiene una gran tradición en la construcción de pavimentos de concreto en prácticamente cualquiera de sus aplicaciones, desde pisos industriales, en bodegas para el almacenamiento de cargas livianas hasta grandes áreas para el manejo de contenedores; pasando por la adecuación de los pisos de viviendas, ciclovías, andenes, pavimentos urbanos, pavimentos rurales, autopistas y en fin en cuanta posibilidad exista.

Los espesores dados en este manual están dirigidos a la pavimentación de vías solicitadas por vehículos con llantas neumáticas, dispuestas en los ejes indicados en el capítulo referente al tránsito, por lo tanto pavimentos que han de ser solicitados por otro tipo de vehículo requieren que se diseñen teniendo en cuenta las particulares de dichos vehículos.

En la literatura técnica se consiguen cartas, nomogramas y manuales para calcular el espesor de las losas para prácticamente cualquiera de los vehículos y para los medios para el manejo y almacenamiento de cargas en forma de arrumes, estanterías o contenedores.

En general se recomienda que el espesor de cualquier losa para pavimentos de concreto no tenga menos de 13 cm de espesor y que la longitud de las losas no sea mayor a 25 veces el espesor ni mayor a 1,3 veces el ancho de la misma.

Cuando se tengan pavimentos con más de 30 cm de espesor es necesario tener en cuenta que los procesos constructivos son más exigentes, que es necesario poner más atención durante la colocación y vibrado del concreto, además del aserrado de las juntas, debido a los grandes volúmenes de concreto involucrados en losas con esos espesores.



7.1 AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. AASHTO Guide for design of pavement structures. Washington : AASHTO, 1986. 1993. 1998. 2 vol.

7.2 ASSOCIATION MONDIALE DE LA ROUTE. La carretera de Hormigón : guía práctica para la transferencia de tecnología. Panamá : FICEM, 2006. 59 p.

7.3 COLOMBIA. MINISTERIO DE TRANSPORTE. Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con bajos volúmenes de tránsito. Bogotá : INVIAS, 2007. 62 p.

7.4 COLOMBIA. MINISTERIO DE TRANSPORTE. Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito. Bogotá : INVIAS, 1998. 117 p.

7.5 COLOMBIA. MINISTERIO DE TRANSPORTE. Especificaciones generales de Construcción de carreteras. Bogotá : INVIAS, 2007.

7.6 GARCIA ALADIN, María Fernanda. Catálogo de diseño de pavimentos rígidos de la PCA Adaptado a las condiciones de tránsito colombianas. Popayán: UNICAUCA, 2002. 385 p.

7.7 HUANG, Yang Hsien. Pavement analysis and design. New Jersey : Prentice-Hall, 1993. 815 p.

7.8 HOLZT, Robert D. & KOVACS, William D. An Introduction to Geotechnical Engineering. Prentice Hall, 1981.

7.9 INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Zonificación de los Conflictos de Uso de las Tierras en Colombia. 2002.

7.10 LONDOÑO NARANJO, Cipriano Alberto. Diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos de concreto. Medellín : ICPC, 2001. 198 p.

7.11 LONDOÑO NARANJO, Cipriano Alberto, Pavimentos de concreto : guía para reparaciones de profundidad parcial. Bogotá : ACPA : ICPC, 1999. 12 p.

7.12 LONDOÑO NARANJO, Cipriano Alberto, Pavimentos de concreto : guía para reparaciones de profundidad total. Bogotá : ACPA : ICPC, 1999. 14 p.

7.13 LONDOÑO NARANJO, Cipriano Alberto. Tránsito terrestre. Medellín : ICPC, 1988. 12 p.

7.14 MONTEJO FONSECA, Alfonso. Ingeniería de pavimentos para carreteras. Bogotá : Universidad Católica de Colombia, 1998. 759 p.

7.15 PORTLAND CEMENT ASSOCIATION. Design and construction of joints for concrete streets. Skokie : PCA, 1992. 12 p.

7.16 PORTLAND CEMENT ASSOCIATION. Joint design for concrete pavements. Skokie : PCA, 1961. 10 p.

7.17 PORTLAND CEMENT ASSOCIATION. Fuel Savings of Heavy Trucks on Concrete Pavement,. Skokie : PCA, 2001. 8 p.

7.18 PORTLAND CEMENT ASSOCIATION. Soil cement mixtures : Laboratory handbook. Chicago : PCA, 1950. 86 p.

7.19 PORTLAND CEMENT ASSOCIATION. Soil Cement Pavements. Skokie : PCA, 1990. 4 p.

7.20 PORTLAND CEMENT ASSOCIATION. Thickness design for concrete pavements. Chicago : PCA, 1984. 32 p.

7.21 RICO RODRIGUEZ, Alfonso. JUAREZ BADILLO, Eulalio. Mecánica de suelos : fundamentos de la mecánica de suelos, teoría y aplicaciones de la mecánica de suelos, flujo de agua en suelos. México : Limusa, 1980. 1981. 1982. 3 Vol.

7.22 STARK, Richard E. Road surface's reflectance : Influence lighting. Skokie : PCA, 1986. 7 p.

7.23 TERZAGHI, Karl. PECK, Ralph. & MESRI Gholamreza. Soil Mechanics in Engineering Practice, Jhon Wiley & Sons, Inc. 1996.

7.24 WITCZAK, Matthew W y YODER, Eldon Joseph. Principles of pavement design. New York : John Wiley, 1975. 711 p.

7.25 ZANIEWSKI, John P. Effect of pavement surface type on fuel consumption. Skoki : PCA, 1989. 4 p.

7.26 AMERICAN PAVEMENT CONCRETE ASSOCIATION. Life Cycle Cost Analysis - A Guide for Comparing Alternate Pavement Designs. ACPA, 2002, 50 p.



Anexos

Contenido

1. El tránsito

Con la palabra tránsito se designa la suma de todos los vehículos que pasan por una vía durante un tiempo determinado. Sin embargo esa definición tan simple encierra algunas implicaciones, la primera tiene que ver con el hecho de tener que predecir para períodos largos, cuantos vehículos pasarán por la vía objeto de la pavimentación, con que características y especialmente cuanto pesan.

El diseño de los pavimentos se debe hacer sabiendo cuanto van a pesar los ejes que van a pasar por la vía durante su vida útil, esto es imposible de realizar en la práctica. Por fortuna los métodos de diseño de pavimentos permite que se hagan simplificaciones en la determinación del tránsito a través de proyecciones.

En el caso de los pavimentos de concreto las cargas que dañan la estructura y por lo tanto las que se deben tener en cuenta son las más grandes, aunque no necesariamente las más frecuentes.

La determinación de la variable tránsito se puede hacer con diferentes grados de aproximación. Las más precisas parten del análisis de registros históricos de conteos y pesajes sobre la vía que se va a pavimentar. Los conteos permiten que se haga una proyección con la idea de que el tránsito pasado permite predecir el que pasará. Por su parte los menos precisos se hacen teniendo en cuenta el ancho y el tipo de la vía que se tiene, o con base en algunas consideraciones acerca del servicio que va a prestar la vía (Ref. 9.14).

En este manual se presentarán diferentes maneras de aproximarse a la determinación del tránsito de diseño y para ello se utilizarán las herramientas que proponen los diferentes métodos de cálculo de espesores y consideraciones acerca de la utilización de las vías.

1.1 Clasificación vehicular

Siguiendo los lineamientos regulativos de la clasificación del tipo de vehículos por peso y por ejes, la resolución 4100 de 2004, expedida por el Ministerio de Transporte, dictamina la siguiente clasificación:

1.1.1 Tipo A

En esta categoría se agrupan los automóviles, camperos, camionetas, y microbuses, según la clasificación del Instituto Nacional de Vías -INVIAS- este grupo se denomina con la letra A.

1.1.2 Tipo B

En esta categoría se agrupan las busetas y los buses, según el INVIAS, este grupo se denomina con la letra B.

1.1.3 Tipo C

Este grupo, que se designa con la letra C, según lo registrado en la resolución 4100 del 2004, en que los vehículos de carga se designan de acuerdo con la configuración de sus ejes de la siguiente manera:

A. Con el primer dígito se designa el número de ejes del camión o del tractocamión (Cabezote)

B. La letra S significa semiremolque y el dígito inmediato indica el número de sus ejes

C. La letra R significa remolque y el dígito inmediato indica el número de sus ejes

D. La letra B significa remolque balanceado y el dígito inmediato indica el número de sus ejes

La diferencia entre el semiremolque y el remolque radica en que el primero le trasmite parte de la carga a la unidad tractora y el segundo transmite toda la carga al pavimento a través de sus propias llantas.

La designación para los vehículos de transporte de carga en el territorio nacional, de acuerdo con la configuración de sus ejes, se muestra en la Figura 1.1.

Los vehículos trasmiten al pavimento las cargas a través de las llantas, las cuales están dispuestas en líneas de rotación llamadas ejes, los cuales se clasifican en ejes simples, tándem o trídem, a su vez cada eje puede ser de llantas sencillas, dobles o mixtos. En la Figura 1.2 se ilustran los diferentes tipos de ejes y la carga máxima permitida, según se explica en el numeral siguiente.

1.2 Peso vehicular y peso por eje

Los vehículos, trasmiten las cargas al pavimento a través de las ruedas, que como se dijo, están dispuestas en ejes. El Ministerio del Transporte, a través de la resolución 4100 de 2004 reglamenta el peso que pueden transmitir tanto los vehículos, como los diferentes ejes de carga. En la Tabla 1-1 se registra la información sobre la carga máxima admisible para los vehículos más comunes en el país de acuerdo con esta resolución; en la Figura 1.2 se indica la carga máxima para los ejes más frecuentes.

Designación	Configuración	Descripción
2		Camión de dos ejes Camión sencillo
3		Camión de tres ejes Dobletroque
3S2		Tractocamión de tres ejes con semirremolque de dos ejes
3S3		Tractocamión de tres ejes con semirremolque de tres ejes

Figura 1.1. Representación esquemática de los vehículos de transporte de carga más comunes en el país (fuente: resolución 4100 de 2004)

Descripción	Configuración	Peso, t
Eje simple direccional		6.0
Eje simple llanta doble		11.0
Eje tándem llanta doble		22.0
Eje tridem llanta doble		24.0

Figura 1.2. Esquematización de los diferentes tipos de ejes y su carga máxima (fuente: resolución 4100 de 2004)

Tipo de eje	Peso máximo por eje, kg
Eje sencillo	
Dos llantas	6,000
Cuatro llantas	11,000
Eje tándem	
Cuatro llantas	11,000
Seis llantas	17,000
Ocho llantas	22,000
Eje trídem	
Seis llantas	16,500
Ocho llantas	19,000
Diez llantas	21,500
Doce llantas	24,000

Tabla 1-1. Máximo peso por eje para los vehículos de transporte de carga (fuente: resolución 4100 de 2004)

Por ley los vehículos deben cumplir simultáneamente con las condiciones de máxima carga vehicular y máximo peso por eje.

Hay que tener en cuenta que el diseño de los pavimentos se debe hacer con base en el conocimiento de la distribución real de los pesos que trasmiten los ejes al pavimento. Esos pesos van desde el que tiene el vehículo cuando está descargado, en cuyo caso es el peso propio del vehículo, hasta el que tiene estando cargado al máximo, que en algunas ocasiones supera la carga legal.

A partir de registros de pesajes de muestras representativas de tránsito es cuando se hacen los diseños de espesores más precisos. En la Tabla 1-13. Conteo en una estación de pesaje, se muestra como se registra la información.

1.2.1 Eje patrón y daño unitario

Dada la gran cantidad de cargas que pueden circular por las vías, los métodos de diseño de pavimentos recurren a establecer un eje patrón al cual se le asigna una carga determinada, la más tradicional es la de 8,2 toneladas para el eje sencillo de llanta doble.

Cuando un eje pasa por un sector de la vía genera un daño proporcional a la carga que trasmite al suelo. En el ensayo vial AASHO, una de las investigaciones viales más importantes que se han desarrollado hasta el momento, al eje patrón de 8,2 toneladas se le asignó un valor de daño igual a la unidad.

1.2.2 Factor de equivalencia

Un concepto desarrollado a partir de la información recolectada en el Ensayo Vial AASHO fue el de factor de equivalencia, que determina el correspondiente daño proporcionado al pavimento a partir de la relación que existe entre el peso que ejerce el eje con una carga cualquiera y el eje patrón. Se encontró en dicho ensayo que el daño que hacen los ejes en el pavimento no es linealmente proporcional a la carga, sino que es exponencial, teniendo un comportamiento como el dado por la Ecuación 1-1

$$Fe = \left[\frac{Pi}{Pe}\right]^n$$

Ecuación 1-1.

Vehículos	Designación	Peso bruto vehicular kg	Tolerancia positiva de medición kg
Camiones	2	16.000	+/- 400
	3	28.000	+/- 700
	4	31.000	+/- 775
	4	36.000	+/- 900
	4	32.000	+/- 800
Tracto-camión con semirremolque	2S1	27.000	+/- 675
	2S2	32.000	+/- 800
	2S3	40.500	+/- 1.013
	3S1	29.000	+/- 725
	3S2	48.000	+/- 1.200
	3S3	52.000	+/- 1.300
Remolque	R2	16.000	+/- 400
Camión remolque	2R2	31.000	+/- 775
	3R2	44.000	+/- 1.100
	3R3	48.000	+/- 1.200

Tabla 1-2. Carga máxima admisible por vehículo (fuente: resolución 4100 de 2004)

En donde:

Fe: Factor de equivalencia

Pi: Carga en el eje

Pe: Carga en el eje patrón

n: Exponente

Esta ecuación es un ajuste del análisis para los pavimentos de concreto, en el que se tienen nueve tablas, para tres índices de servicio final y para cada uno de los ejes principales que se presentan en la "Guía para el diseño de estructuras de pavimento de la AASHTO" (Ref. 9.1), donde se establece como ejes patrón para las configuraciones tándem y trídem aquellos cuyas cargas sean de 132,1 kN y 184 kN respectivamente, y con la aproximación del valor exponencial entre 4 y 4,5 dependiendo del tipo de pavimento y de su función estructural (serviciabilidad final).

1.2.3 Factores de equivalencia según la AASHTO para pavimentos de concreto

Desde la Tabla 1-3 hasta la Tabla 1-10 se encuentran los valores establecidas por la AASHTO para la determinación de los factores de equivalencia para los pavimentos de concreto (Ref. 9.1).

Carga por eje, kN	Espesor de la losa D (mm)								
	150	175	200	225	250	275	300	325	350
09,1	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
18,2	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
27,3	0,011	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
36,4	0,035	0,033	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032
45,5	0,087	0,084	0,082	0,081	0,080	0,080	0,080	0,080	0,080
54,5	0,186	0,180	0,176	0,175	0,174	0,174	0,173	0,173	0,173
63,6	0,353	0,346	0,341	0,338	0,337	0,336	0,336	0,336	0,336
72,7	0,614	0,609	0,604	0,601	0,599	0,599	0,598	0,598	0,598
81,8	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
90,9	1,55	1,56	1,57	1,58	1,58	1,59	1,59	1,59	1,59
100,0	2,32	2,32	2,35	2,38	2,40	2,41	2,41	2,41	2,42
109,1	3,37	3,34	3,40	3,47	3,51	3,53	3,54	3,55	3,55
118,2	4,76	4,69	4,77	4,88	4,97	5,02	5,04	5,06	5,06
127,3	6,58	6,44	6,52	6,70	6,85	6,94	7,00	7,02	7,04
136,4	8,92	8,68	8,74	8,98	9,23	9,39	9,48	9,54	9,56
145,5	11,9	11,5	11,5	11,8	12,2	12,4	12,6	12,7	12,7
154,5	15,5	15,0	14,9	15,3	15,8	16,2	16,4	16,6	16,7
163,6	20,1	19,3	19,2	19,5	20,1	20,7	21,1	21,4	21,5
172,7	25,6	24,5	24,3	24,6	25,4	26,1	26,7	27,1	27,4
181,8	32,2	30,8	30,4	30,7	31,6	32,6	33,4	34,0	34,4
190,9	40,1	38,4	37,7	38,0	38,9	40,1	41,3	42,1	42,7
200,0	49,4	47,3	46,4	46,6	47,6	49,0	50,4	51,6	52,4
209,1	60,4	57,7	56,6	56,7	57,7	59,3	61,1	62,6	63,4
218,2	73,2	69,9	68,4	68,4	69,4	71,2	73,3	75,3	76,8
227,3	88,0	84,1	82,2	82,0	83,0	84,9	87,4	89,8	91,7

Tabla 1-3. Factor de equivalencia para pavimentos de concreto, ejes sencillos y pt 2,0

Carga por eje, kN	Espesor de la losa D (mm)								
	150	175	200	225	250	275	300	325	350
09,1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
18,2	0,0006	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
27,3	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
36,4	0,006	0,006	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
45,5	0,014	0,013	0,013	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012
54,5	0,028	0,026	0,026	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
63,6	0,051	0,049	0,048	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047
72,7	0,087	0,084	0,082	0,081	0,081	0,080	0,080	0,080	0,080
81,8	0,141	0,136	0,133	0,132	0,131	0,131	0,131	0,131	0,131
90,9	0,216	0,210	0,206	0,204	0,203	0,203	0,203	0,203	0,203
100,0	0,319	0,313	0,307	0,305	0,304	0,303	0,303	0,303	0,303
109,1	0,454	0,449	0,444	0,441	0,440	0,439	0,439	0,439	0,439
118,2	0,629	0,626	0,622	0,620	0,618	0,618	0,618	0,618	0,618
127,3	0,852	0,851	0,850	0,850	0,850	0,849	0,849	0,849	0,849
136,4	1,13	1,13	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14
145,5	1,48	1,48	1,49	1,50	1,51	1,51	1,51	1,51	1,51
154,5	1,90	1,90	1,93	1,95	1,96	1,97	1,97	1,97	1,97
163,6	2,42	2,41	2,45	2,49	2,51	2,52	2,53	2,53	2,53
172,7	3,04	3,02	3,07	3,13	3,17	3,19	3,20	3,20	3,21
181,8	3,79	3,74	3,80	3,89	3,95	3,98	4,00	4,01	4,01
190,9	4,67	4,59	4,66	4,78	4,87	4,93	4,95	4,97	4,97
200,0	5,72	5,59	5,67	5,82	5,95	6,03	6,07	6,09	6,10
209,1	6,94	6,76	6,83	7,02	7,20	7,31	7,37	7,41	7,43
218,2	8,36	8,12	8,17	8,40	8,63	8,79	8,88	8,93	8,96
227,3	10,00	9,69	9,72	9,98	10,27	10,49	10,62	10,69	10,73
236,4	11,9	11,5	11,5	11,8	12,1	12,4	12,6	12,7	12,8
244,5	14,0	13,5	13,5	13,8	14,2	14,6	14,9	15,0	15,1
254,5	16,5	15,9	15,8	16,1	16,6	17,1	17,4	17,6	17,7
263,6	19,3	18,5	18,4	18,7	19,3	19,8	20,3	20,5	20,7
272,7	22,4	21,5	21,3	21,6	22,3	22,9	23,5	23,8	24,0
281,8	25,9	24,9	24,6	24,9	25,6	26,4	27,0	27,5	27,7
290,9	29,9	28,6	28,2	28,5	29,3	30,2	31,0	31,6	31,9
300,0	34,3	32,8	32,3	32,6	33,4	34,4	35,4	36,1	36,5
309,1	39,2	37,5	36,8	37,1	37,9	39,1	40,2	41,1	41,6
318,2	44,6	42,7	41,9	42,1	42,9	44,2	45,5	46,6	47,3
327,3	50,6	48,4	47,5	47,6	48,5	49,9	51,4	52,6	53,5
336,4	57,3	54,7	53,6	53,6	54,6	56,1	57,7	59,2	60,3
345,5	64,6	61,7	60,4	60,3	61,2	62,8	64,7	66,4	67,7
354,5	72,5	69,3	67,8	67,7	68,6	70,2	72,3	74,3	75,8
363,6	81,3	77,6	75,9	75,7	76,6	78,3	80,6	82,8	84,7
372,7	90,9	86,7	84,7	84,4	85,3	87,1	89,6	92,1	94,2
381,8	101	97	94	94	95	97	99	102	105
390,6	113	107	105	104	105	107	110	113	116
400,0	125	119	116	116	116	118	121	125	128
409,1	138	132	129	128	129	131	134	137	141

Tabla 1-4. Factor de equivalencia para pavimentos de concreto, ejes tándem y pt 2,0

Carga por eje, kN	Espesor de la losa D (mm)								
	150	175	200	225	250	275	300	325	350
09,1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
18,2	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
27,3	0,0010	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009	0,0009
36,4	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
45,5	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
54,5	0,010	0,010	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009
63,6	0,018	0,017	0,017	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016
72,7	0,030	0,029	0,028	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027
81,8	0,047	0,045	0,044	0,044	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043
90,9	0,072	0,069	0,067	0,066	0,066	0,066	0,066	0,066	0,066
100,0	0,105	0,101	0,099	0,098	0,097	0,097	0,097	0,097	0,097
109,1	0,149	0,144	0,141	0,139	0,139	0,138	0,138	0,138	0,138
118,2	0,205	0,199	0,195	0,194	0,193	0,192	0,192	0,192	0,192
127,3	0,276	0,270	0,265	0,263	0,262	0,262	0,262	0,262	0,261
136,4	0,364	0,359	0,354	0,351	0,350	0,349	0,349	0,349	0,349
145,5	0,472	0,468	0,463	0,460	0,459	0,458	0,458	0,458	0,458
154,5	0,603	0,600	0,596	0,594	0,593	0,592	0,592	0,592	0,592
163,6	0,759	0,758	0,757	0,756	0,755	0,755	0,755	0,755	0,755
172,7	0,946	0,947	0,949	0,950	0,951	0,951	0,951	0,951	0,951
181,8	1,17	1,17	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18	1,19
190,9	1,42	1,43	1,44	1,45	1,46	1,46	1,46	1,46	1,46
200,0	1,73	1,73	1,75	1,77	1,78	1,78	1,79	1,79	1,79
209,1	2,08	2,07	2,10	2,13	2,15	2,16	2,16	2,16	2,17
218,2	2,48	2,47	2,51	2,55	2,58	2,59	2,60	2,60	2,61
227,3	2,95	2,92	2,97	3,03	3,07	3,09	3,10	3,11	3,11
236,4	3,48	3,44	3,50	3,58	3,63	3,66	3,68	3,69	3,69
244,5	4,09	4,03	4,09	4,20	4,27	4,31	4,33	4,35	4,35
254,5	4,78	4,69	4,76	4,89	4,99	5,05	5,08	5,09	5,10
263,6	5,57	5,44	5,51	5,66	5,79	5,87	5,91	5,94	5,95
272,7	6,45	6,29	6,35	6,53	6,69	6,79	6,85	6,88	6,90
281,8	7,43	7,23	7,28	7,49	7,69	7,82	7,90	7,94	7,97
290,9	8,54	8,28	8,32	8,55	8,80	8,97	9,07	9,13	9,16
300,0	9,76	9,46	9,48	9,73	10,02	10,24	10,37	10,44	10,48
309,1	11,1	10,8	10,8	11,0	11,4	11,6	11,8	11,9	12,0
318,2	12,6	12,2	12,2	12,5	12,8	13,2	13,4	13,5	13,6
327,3	14,3	13,8	13,7	14,0	14,5	14,9	15,1	15,3	15,4
336,4	16,1	15,5	15,4	15,7	16,2	16,7	17,0	17,2	17,3
345,5	18,2	17,5	17,3	17,6	18,2	18,7	19,1	19,3	19,5
354,5	20,4	19,6	19,4	19,7	20,3	20,9	21,4	21,7	21,8
363,6	22,8	21,9	21,6	21,9	22,6	23,3	23,8	24,2	24,4
372,7	25,4	24,4	24,1	24,4	25,0	25,8	26,5	26,9	27,2
381,8	28,3	27,1	6,72	27,0	27,7	28,6	29,4	29,9	30,2
390,6	31,4	30,1	29,6	29,9	30,7	31,6	32,5	33,1	33,5
400,0	34,8	33,3	32,8	33,0	33,8	34,8	35,8	36,6	37,1
409,1	38,5	36,8	36,2	36,4	37,2	38,3	39,4	40,3	40,9

Tabla 1-5. Factor de equivalencia para pavimentos de concreto, ejes trídem y pt 2,0

Carga por eje, kN	Espesor de la losa D (mm)								
	150	175	200	225	250	275	300	325	350
09,1	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
18,2	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
27,3	0,012	0,011	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
36,4	0,039	0,035	0,033	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032
45,5	0,097	0,089	0,084	0,082	0,081	0,080	0,080	0,080	0,080
54,5	0,203	0,189	0,181	0,176	0,175	0,174	0,174	0,173	0,173
63,6	0,376	0,360	0,347	0,341	0,338	0,337	0,336	0,336	0,336
72,7	0,634	0,623	0,610	0,604	0,601	0,599	0,599	0,599	0,598
81,8	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
90,9	1,51	1,52	1,55	1,57	1,58	1,58	1,59	1,59	1,59
100,0	2,21	2,20	2,28	2,34	2,38	2,40	2,41	2,41	2,41
109,1	3,16	3,10	3,22	3,36	3,45	3,50	3,53	3,54	3,55
118,2	4,41	4,26	4,42	4,67	4,85	4,95	5,01	5,04	5,05
127,3	6,05	5,76	5,92	6,29	6,61	6,81	6,92	6,98	7,01
136,4	8,16	7,67	7,79	8,28	8,79	9,14	9,35	9,46	9,52
145,5	10,8	10,1	10,1	10,7	11,4	12,0	12,3	12,6	12,7
154,5	14,1	13,0	12,9	13,6	14,6	15,4	16,0	16,4	16,5
163,6	18,2	16,7	16,4	17,1	18,3	19,5	20,4	21,0	21,3
172,7	23,1	21,1	20,6	21,3	22,7	24,3	25,6	26,4	27,0
181,8	29,1	26,5	25,7	26,3	27,9	29,9	31,6	32,9	33,7
190,9	36,2	32,9	31,7	32,2	34,0	36,3	38,7	40,4	41,6
200,0	44,6	40,4	38,8	39,2	41,0	43,8	46,7	49,1	50,8
209,1	54,5	49,3	47,1	47,3	49,2	52,3	55,9	59,0	61,4
218,2	66,1	59,7	56,9	56,8	58,7	62,1	66,3	70,3	73,4
227,3	79,4	71,7	68,2	67,8	69,6	73,3	78,1	83,0	87,1

Tabla 1-6. Factor de equivalencia para pavimentos de concreto, eje sencillo y pt 2,5

Carga por eje, kN	Espesor de la losa D (mm)								
	150	175	200	225	250	275	300	325	350
09,1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
18,2	0,0006	0,0006	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
27,3	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
36,4	0,007	0,006	0,006	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
45,5	0,015	0,014	0,013	0,013	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012
54,5	0,031	0,028	0,026	0,026	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
63,6	0,057	0,052	0,049	0,048	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047
72,7	0,097	0,089	0,084	0,082	0,081	0,081	0,080	0,080	0,080
81,8	0,155	0,143	0,136	0,133	0,132	0,131	0,131	0,131	0,131
90,9	0,234	0,220	0,211	0,206	0,204	0,203	0,203	0,203	0,203
100,0	0,340	0,325	0,313	0,308	0,305	0,304	0,303	0,303	0,303
109,1	0,475	0,462	0,450	0,444	0,441	0,440	0,439	0,439	0,439
118,2	0,644	0,637	0,627	0,622	0,620	0,619	0,618	0,618	0,618
127,3	0,855	0,854	0,852	0,850	0,850	0,850	0,849	0,849	0,849
136,4	1,11	1,12	1,13	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14
145,5	1,43	1,44	1,47	1,49	1,50	1,51	1,51	1,51	1,51
154,5	1,82	1,82	1,87	1,92	1,95	1,96	1,97	1,97	1,97
163,6	2,29	2,27	2,35	2,43	2,48	2,51	2,52	2,52	2,53
172,7	2,85	2,80	2,91	3,03	3,12	3,16	3,18	3,20	3,20
181,8	3,52	3,42	3,55	3,74	3,87	3,94	3,98	4,00	4,01
190,9	4,32	4,16	4,30	4,55	4,74	4,86	4,91	4,95	4,96
200,0	5,26	5,01	5,16	5,48	5,75	5,92	6,01	6,06	6,09
209,1	6,36	6,01	6,14	6,53	6,90	7,14	7,28	7,36	7,40
218,2	7,64	7,16	7,27	7,73	8,21	8,55	8,75	8,86	8,92
227,3	9,11	8,50	8,55	9,07	9,68	10,14	10,42	10,58	10,66
236,4	10,8	10,0	10,0	10,6	11,3	11,9	12,3	12,5	12,7
244,5	12,8	11,8	11,7	12,3	13,2	13,9	14,5	14,8	14,9
254,5	15,0	13,8	13,6	14,2	15,2	16,2	16,8	17,3	17,5
263,6	17,5	16,0	15,7	16,3	17,5	18,6	19,5	20,1	20,4
272,7	20,3	18,5	18,1	18,7	20,0	21,4	22,5	23,2	23,6
281,8	23,5	21,4	20,8	21,4	22,8	24,4	25,7	26,7	27,3
290,9	27,0	24,6	23,8	24,4	25,8	27,7	29,3	30,5	31,3
300,0	31,0	28,1	27,1	27,6	29,2	31,3	33,2	34,7	35,7
309,1	35,4	32,1	30,9	31,3	32,9	35,2	37,5	39,3	40,5
318,2	40,3	36,5	35,0	35,3	37,0	39,5	42,1	44,3	45,9
327,3	45,7	41,4	39,6	39,8	41,5	44,2	47,2	49,8	51,7
336,4	51,7	46,7	44,6	44,7	46,4	49,3	52,7	55,7	58,0
345,5	58,3	52,6	50,2	50,1	51,8	54,9	58,6	62,1	64,8
354,5	65,5	59,1	56,3	56,1	57,7	60,9	65,0	69,0	72,3
363,6	73,4	66,2	62,9	62,5	64,2	67,5	71,9	76,4	80,2
372,7	82,0	73,9	70,2	69,9	71,2	74,7	79,4	84,4	88,8
381,8	91,4	82,4	78,1	77,3	78,9	82,4	87,4	93,0	98,1
390,6	102	92	87	86	87	91	96	102	108
400,0	113	102	96	95	96	100	105	112	119
409,1	125	112	106	105	106	110	115	123	130

Tabla 1-7. Factor de equivalencia para pavimentos de concreto, ejes tándem y pt 2,5

Carga por eje, kN	Espesor de la losa D (mm)								
	150	175	200	225	250	275	300	325	350
09,1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
18,2	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
27,3	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
36,4	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
45,5	0,006	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
54,5	0,011	0,010	0,010	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009
63,6	0,020	0,018	0,017	0,017	0,016	0,016	0,016	0,016	0,016
72,7	0,033	0,030	0,029	0,028	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027
81,8	0,052	0,048	0,045	0,044	0,044	0,043	0,043	0,043	0,043
90,9	0,080	0,073	0,069	0,067	0,066	0,066	0,066	0,066	0,066
100,0	0,116	0,107	0,101	0,099	0,098	0,097	0,097	0,097	0,097
109,1	0,163	0,151	0,144	0,141	0,139	0,139	0,138	0,138	0,138
118,2	0,222	0,209	0,200	0,195	0,194	0,193	0,192	0,192	0,192
127,3	0,295	0,281	0,271	0,265	0,263	0,262	0,262	0,262	0,262
136,4	0,384	0,371	0,359	0,354	0,351	0,350	0,349	0,349	0,349
145,5	0,490	0,480	0,468	0,463	0,460	0,459	0,458	0,458	0,458
154,5	0,616	0,609	0,601	0,596	0,594	0,593	0,592	0,592	0,592
163,6	0,765	0,762	0,759	0,757	0,756	0,755	0,755	0,755	0,755
172,7	0,939	0,941	0,946	0,948	0,950	0,951	0,951	0,951	0,951
181,8	1,14	1,15	1,16	1,17	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18
190,9	1,38	1,38	1,41	1,44	1,45	1,46	1,46	1,46	1,46
200,0	1,65	1,65	1,70	1,74	1,77	1,78	1,78	1,78	1,79
209,1	1,97	1,96	2,03	2,09	2,13	2,15	2,16	2,16	2,16
218,2	2,34	2,31	2,40	2,49	2,55	2,58	2,59	2,60	2,60
227,3	2,76	2,71	2,81	2,94	3,02	3,07	3,09	3,10	3,11
236,4	3,24	3,15	3,27	3,44	3,56	3,62	3,66	3,68	3,68
244,5	3,79	3,66	3,79	4,00	4,16	4,26	4,30	4,33	4,34
254,5	4,41	4,23	4,37	4,63	4,84	4,97	5,03	5,07	5,09
263,6	5,12	4,87	5,00	5,32	5,59	5,76	5,85	5,90	5,93
272,7	5,91	5,59	5,71	6,08	6,42	6,64	6,77	6,84	6,87
281,8	6,80	6,39	6,50	6,91	7,33	7,62	7,79	7,88	7,93
290,9	7,79	7,29	7,37	7,82	8,33	8,70	8,92	9,04	9,11
300,0	8,90	8,28	8,33	8,83	9,42	9,88	10,17	10,33	10,42
309,1	10,1	9,4	9,4	9,9	10,6	11,2	11,5	11,7	11,9
318,2	11,5	10,6	10,6	11,1	11,9	12,6	13,0	13,3	13,5
327,3	13,0	12,0	11,8	12,4	13,3	14,1	14,7	15,0	15,2
336,4	14,6	13,5	13,2	13,8	14,8	15,8	16,5	16,9	17,1
345,5	16,5	15,1	14,8	15,4	16,5	17,6	18,4	18,9	19,2
354,5	18,5	16,9	16,5	17,1	18,2	19,5	20,5	21,1	21,5
363,6	20,6	18,8	18,3	18,9	20,2	21,6	22,7	23,5	24,0
372,7	23,0	21,0	20,3	20,9	22,2	23,8	25,2	26,1	26,7
381,8	25,6	23,3	22,5	23,1	24,5	26,2	27,8	28,9	29,6
390,6	28,4	25,8	24,9	25,4	26,9	28,8	30,5	31,9	32,8
400,0	31,5	28,6	27,5	27,9	29,4	31,5	33,5	35,1	36,1
409,1	34,8	31,5	30,3	30,7	32,2	34,4	36,7	38,5	39,8

Tabla 1-8. Factor de equivalencia para pavimentos de concreto, ejes trídem y pt 2,5

Carga por eje, kN	Espesor de la losa D (mm)								
	150	175	200	225	250	275	300	325	350
09,1	0,0003	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
18,2	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
27,3	0,014	0,012	0,011	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
36,4	0,045	0,038	0,034	0,033	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032
45,5	0,111	0,095	0,087	0,083	0,081	0,081	0,080	0,080	0,080
54,5	0,228	0,202	0,186	0,179	0,176	0,174	0,174	0,174	0,173
63,6	0,408	0,378	0,355	0,344	0,340	0,337	0,337	0,336	0,336
72,7	0,660	0,640	0,619	0,608	0,603	0,600	0,599	0,599	0,599
81,8	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
90,9	1,46	1,47	1,52	1,55	1,57	1,58	1,58	1,59	1,59
100,0	2,07	2,06	2,18	2,29	2,35	2,38	2,40	2,41	2,41
109,1	2,90	2,81	3,00	3,23	3,38	3,47	3,51	3,53	3,54
118,2	4,00	3,77	4,01	4,40	4,70	4,87	4,96	5,01	5,04
127,3	5,43	4,99	5,23	5,80	6,31	6,65	6,83	6,93	6,98
136,4	7,27	6,53	6,72	7,46	8,25	8,83	9,17	9,36	9,46
145,5	9,59	8,47	8,53	9,42	10,54	11,4	12,3	12,37	12,56
154,5	12,5	10,9	10,7	11,7	13,2	14,5	15,5	16,0	16,4
163,6	16,0	13,8	13,4	14,4	16,2	18,1	19,5	20,4	21,0
172,7	20,4	17,4	16,7	17,7	19,8	22,2	24,2	25,6	26,4
181,8	25,6	21,8	20,6	21,5	23,8	26,8	29,5	31,5	32,9
190,9	31,8	26,9	25,3	26,0	28,5	32,0	35,5	38,4	40,3
200,0	39,2	33,1	30,8	31,3	33,9	37,9	42,3	46,1	48,8
209,1	47,8	40,3	37,2	37,5	40,1	44,5	49,8	54,7	58,5
218,2	57,9	48,6	44,8	44,7	47,3	52,1	58,2	64,3	69,4
227,3	69,6	58,4	53,6	53,1	55,6	60,6	67,6	75,0	81,4

Tabla 1-9. Factor de equivalencia para pavimentos de concreto, eje sencillo y pt 3,0.

Carga por eje, kN	Espesor de la losa D (mm)								
	150	175	200	225	250	275	300	325	350
09,1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
18,2	0,0007	0,0006	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
27,3	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
36,4	0,008	0,006	0,006	0,006	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
45,5	0,018	0,015	0,013	0,013	0,013	0,012	0,012	0,012	0,012
54,5	0,036	0,030	0,027	0,026	0,026	0,025	0,025	0,025	0,025
63,6	0,066	0,056	0,050	0,048	0,047	0,047	0,047	0,047	0,047
72,7	0,111	0,095	0,087	0,083	0,081	0,081	0,081	0,080	0,080
81,8	0,174	0,153	0,140	0,135	0,132	0,131	0,131	0,131	0,131
90,9	0,260	0,234	0,217	0,209	0,205	0,204	0,203	0,203	0,203
100,0	0,368	0,341	0,321	0,311	0,307	0,305	0,304	0,303	0,303
109,1	0,502	0,479	0,458	0,447	0,443	0,440	0,440	0,439	0,439
118,2	0,664	0,651	0,634	0,626	0,621	0,619	0,618	0,618	0,618
127,3	0,859	0,857	0,853	0,851	0,850	0,850	0,850	0,849	0,849
136,4	1,09	1,10	1,12	1,13	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14
145,5	1,38	1,38	1,44	1,47	1,49	1,50	1,51	1,51	1,51
154,5	1,72	1,71	1,80	1,88	1,93	1,95	1,96	1,97	1,97
163,6	2,13	2,10	2,23	2,36	2,45	2,49	2,51	2,52	2,52
172,7	2,62	2,54	2,71	2,92	3,06	3,13	3,17	3,19	3,20
181,8	3,21	3,05	3,26	3,55	3,76	3,89	3,95	3,98	4,00
190,9	3,90	3,65	3,87	4,26	4,58	4,77	4,87	4,92	4,95
200,0	4,72	4,35	4,57	5,06	5,50	5,78	5,94	6,02	6,06
209,1	5,68	5,16	5,36	5,95	6,54	6,94	7,17	7,29	7,36
218,2	6,80	6,10	6,25	6,93	7,69	8,24	8,57	8,76	8,86
227,3	8,09	7,17	7,26	8,03	8,96	9,70	10,17	10,43	10,58
236,4	9,57	8,41	8,40	9,24	10,36	11,32	11,96	12,33	12,54
244,5	11,3	9,8	9,7	10,6	11,9	13,1	14,0	14,5	14,8
254,5	13,2	11,4	11,2	12,1	13,6	15,1	16,2	16,9	17,3
263,6	15,4	13,2	12,8	13,7	15,4	17,2	18,6	19,5	20,1
272,7	17,9	15,3	14,7	15,6	17,4	19,5	21,3	22,5	23,2
281,8	20,6	17,6	16,8	17,6	19,6	22,0	24,1	25,7	26,6
290,9	23,7	20,2	19,1	19,9	22,0	24,7	27,3	29,2	30,4
300,0	27,2	23,1	21,7	22,4	24,6	27,6	30,6	33,0	34,6
309,1	31,1	26,3	24,6	25,2	27,4	30,8	34,3	37,1	39,2
318,2	35,4	29,8	27,8	28,2	30,6	34,2	38,2	41,6	44,1
327,3	40,1	33,8	31,3	31,6	34,0	37,9	42,3	46,4	49,4
336,4	45,3	38,1	35,2	35,4	37,7	41,8	46,8	51,5	55,2
345,5	51,1	42,9	39,5	39,5	41,8	46,1	51,5	56,9	61,3
354,5	57,4	48,2	44,3	44,0	46,3	50,7	56,6	62,7	67,9
363,6	64,3	53,9	49,4	48,9	51,1	55,8	62,1	68,9	74,9
372,7	71,8	60,2	55,1	54,3	56,5	61,2	67,9	75,5	82,4
381,8	80,0	67,0	61,2	60,2	62,2	67,0	74,2	82,4	90,3
390,6	89,0	74,5	67,9	66,5	68,5	73,4	80,8	89,8	98,7
400,0	98,7	82,5	75,2	73,5	75,3	80,2	88,0	97,7	107,5
409,1	109	91	83	81	83	88	96	106	117

Tabla 1-10. Factor de equivalencia para pavimentos de concreto, ejes tándem y pt 3,0

Carga por eje, kN	Espesor de la losa D (mm)								
	150	175	200	225	250	275	300	325	350
09,1	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
18,2	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
27,3	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
36,4	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
45,5	0,007	0,006	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
54,5	0,013	0,011	0,010	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009	0,009
63,6	0,023	0,020	0,018	0,017	0,017	0,016	0,016	0,016	0,016
72,7	0,039	0,033	0,030	0,028	0,028	0,027	0,027	0,027	0,027
81,8	0,061	0,052	0,047	0,045	0,044	0,044	0,043	0,043	0,043
90,9	0,091	0,078	0,071	0,068	0,067	0,066	0,066	0,066	0,066
100,0	0,132	0,114	0,104	0,100	0,098	0,097	0,097	0,097	0,097
109,1	0,183	0,161	0,148	0,143	0,140	0,139	0,139	0,138	0,138
118,2	0,246	0,221	0,205	0,198	0,195	0,193	0,193	0,192	0,192
127,3	0,322	0,296	0,277	0,268	0,265	0,263	0,262	0,262	0,262
136,4	0,411	0,387	0,367	0,357	0,353	0,351	0,350	0,349	0,349
145,5	0,515	0,494	0,476	0,466	0,462	0,460	0,459	0,458	0,458
154,5	0,634	0,622	0,607	0,599	0,595	0,594	0,593	0,592	0,592
163,6	0,772	0,768	0,762	0,758	0,756	0,756	0,755	0,755	0,755
172,7	0,930	0,934	0,942	0,947	0,949	0,950	0,951	0,951	0,951
181,8	1,11	1,12	1,15	1,17	1,18	1,18	1,18	1,18	1,18
190,9	1,32	1,33	1,38	1,42	1,44	1,45	1,46	1,46	1,46
200,0	1,56	1,56	1,64	1,71	1,75	1,77	1,78	1,78	1,78
209,1	1,84	1,83	1,94	2,04	2,10	2,14	2,15	2,16	2,16
218,2	2,16	2,12	2,26	2,41	2,51	2,56	2,58	2,59	2,60
227,3	2,53	2,45	2,61	2,82	2,96	3,03	3,07	3,09	3,10
236,4	2,95	2,82	3,01	3,27	3,47	3,58	3,63	3,66	3,68
244,5	3,43	3,23	3,43	3,77	4,03	4,18	4,17	4,31	4,33
254,5	3,98	3,70	3,90	4,31	4,65	4,86	4,98	5,04	5,07
263,6	4,59	4,22	4,42	4,90	5,34	5,62	5,78	5,86	5,90
272,7	5,28	4,80	4,99	5,54	6,08	6,45	6,66	6,78	6,84
281,8	6,06	5,45	5,61	6,23	6,89	7,36	7,64	7,80	7,88
290,9	6,92	6,18	6,29	6,98	7,76	8,36	8,72	8,93	9,04
300,0	7,89	6,98	7,05	7,78	8,70	9,44	9,91	10,18	10,33
309,1	8,96	7,88	7,87	8,66	9,71	10,61	11,20	11,55	11,75
318,2	10,2	8,9	8,8	9,6	10,8	11,9	12,6	13,1	13,3
327,3	11,5	10,0	9,8	10,6	12,0	13,2	14,1	14,7	15,0
336,4	12,9	12,2	10,9	11,7	13,2	14,7	15,8	16,5	16,9
345,5	14,5	12,5	12,1	12,9	14,5	16,2	17,5	18,4	18,9
354,5	16,2	13,9	13,4	14,2	15,9	17,8	19,4	20,5	21,1
363,6	18,2	15,5	14,8	15,6	17,4	19,6	21,4	22,7	23,5
372,7	20,2	17,2	16,4	17,2	19,1	21,4	23,5	25,1	26,1
381,8	22,5	19,1	18,1	18,8	20,8	23,4	25,8	27,6	28,8
390,6	25,0	21,2	19,9	20,6	22,6	25,5	28,2	30,3	31,8
400,0	27,6	23,4	21,9	22,5	24,6	27,7	30,7	33,2	35,0
409,1	30,5	25,8	24,1	24,6	26,8	30,0	33,4	36,3	38,3

Tabla 1-11. Factor de equivalencia para pavimentos de concreto, ejes trídem y pt 3,0

Eje	Direccional	Sencillo de llanta doble	Tándem	Trídem
Carga patrón (kN)	60.00	81.81	132.14	184.00
Exponencial	4	4.5	4.2	4.3

Tabla 1-12. Cargas patrón y exponenciales para el cálculo del Factor de equivalencia.

En el caso de que no se tengan suficientes, y confiables, datos de representación del tránsito actual y proyectado, se puede recurrir a la Tabla 1-12, en la que se hace una aproximación ponderada de los valores para el exponencial "n", dependiendo del tipo de eje, para un índice de servicio final de 2,5. Este valor es aplicable solo para los pavimentos de concreto.

1.2.4 Factor camión FC

Dado que los vehículos comerciales (camiones y buses) tienen dos o más ejes, a la suma de los factores daño de cada uno de sus ejes se le conoce como Factor camión -Fc-.

El Factor camión se puede entender como el número de aplicaciones de ejes sencillos cargados con 81.81 kN (8.2 toneladas) que es necesario que circulen por un pavimento para hacer el mismo daño que un camión con una carga cualquiera.

A manera de ejemplo, se tiene un camión clasificado como 3S3, al cual, después de determinar el peso de sus ejes, se encontró que tenían las siguientes cargas: 220 kN en el eje tándem, 240 kN en el eje trídem y 40 kN en el eje direccional (Datos asumidos). El factor camión para dicho vehículo se calcula de la siguiente manera

Factor de equivalencia para el eje direccional:

$$Fe = \left[\frac{40}{60}\right]^4 = 0.20$$

Factor de equivalencia para el eje sencillo de llanta doble:

$$Fe = \left[\frac{220}{132.14}\right]^{4.2} = 8.51$$

Factor de equivalencia para el eje tándem:

$$Fe = \left[\frac{240}{184.00}\right]^{4.3} = 3.13$$

El factor camión es la suma de los anteriores factores de equivalencia.

$$Fc = 0.20+8.51+3.13=11.84$$

Esto indica que es necesario que circulen 11,84 ejes 81,81 kN (8,2 t), sobre un pavimento de concreto, para que generen el mismo daño que el camión del ejemplo.

1.3 Cuantificación del tránsito en una vía

Existen varios procedimientos para estimar el tránsito, los más precisos son los que parten de pesar y contar una muestra representativa de los vehículos que pasan, por la vía que se desea pavimentar, como se indica en la Tabla 1-13 . Se pesan y se cuentan, los ejes de los vehículos tipo B y C y se lleva un registro de la clase del vehículo y de los ejes pesados, discriminando si se trata de ejes sencillos, tándem o trídem.

Otro posible procedimiento de cuantificar las cargas de tránsito para determinar el espesor del pavimento, consiste en utilizar tablas de distribución de cargas, conocidas como espectros de carga, desarrolladas a partir del análisis de series históricas de pesajes de vehículos en una red en particular.

También se puede obtener una aproximación para la variable tránsito a partir de las características de los vehículos, en este caso se trata de hacer un conteo de los vehículos por tipo, marca y modelo, además de la observación respecto a si van cargados o no. Luego con base en los catálogos de los fabricantes se le asigna a los ejes registrados, el peso estipulado por el diseñador como carga máxima.

Otra aproximación derivada de la anterior se hace partiendo de un aforo, como se explicó en el párrafo anterior, para luego asignarle a cada tipo de vehículo unos factores de agresión al pavimento (Factores camión).

Carretera:				Fecha:		Marzo 18 a marzo 25				
Estación de pesaje				Elaborado por:						
Carga por eje, kN kN=0,1 t	Número de ejes:								Tipo y número:	
	Unidades simples				Combinaciones				Total de ejes	
	2 ejes			3 ejes	3 ejes	4 ejes	5 ejes	6 ejes	Camiones	Camiones y buses
	C2	B	C2 + B	C3	C2 - S1	C2 - S2	C3 - S2	C3 - S3		
	1	2	3 = 1+2	4	5	6	7	8	9	10 = 9+2
Ejes sencillos										
< 39,9	18.678	8.722	27.400	78	153	62	20		18.991	27.713
40 – 49,9	1.167	1.833	3.000	12	73	38	13	32	1.335	3.168
50 – 59,9	1.019	1.718	2.737	4	9	22	3	18	1.075	2.793
60 – 69,9	1.163	1.624	2.787	2	12	2	1	17	1.197	2.821
70 – 79,9	879	110	989		3	4		24	910	1.020
80 – 89,9	518	65	583	1	12	7			538	603
90 - 99,9	441	28	469	18	7				466	494
100 - 109,9	334		334		20	7			361	361
110 - 119,9	239		239		22	3			264	264
120 - 129,9	157		157		14	10			181	181
130 - 139,9	94		94		8	7			109	109
140 - 149,9	30		30		4	3			37	37
150 - 159,9	19		19			3			22	22
160 - 169,9	12		12			1			13	13
> 170,0	14		14						14	14
Subtotal	**24.764**	**14.100**	**38.864**	**97**	**348**	**176**	**37**	**91**	**25.513**	**39.613**
Ejes tándem										
< 119,9				81		40	43	30	194	36
120 - 139,9				1		2	5	5	13	13
140 - 159,9				1		9	2	15	27	5
160 - 179,9				1		2	5	10	18	15
180 - 199,9				1		6	5	4	16	8
200 - 221,9				5		4	2	8	19	5
220 - 223,9						7	4	7	18	8
240 - 259,9				3		2	2	2	9	7
>260				4		12	6	10	36	5
Subtotal				**97**		**88**	**74**	**91**	**350**	**259**
Ejes trídem										
< 120								35	35	35
120 - 139,9										
140 - 159,9								6	6	6
160 - 179,9								9	9	9
180 - 199,9								4	4	4
200 - 221,9								8	8	8
220 - 223,9								1	1	1
240 - 225,9								1	1	1
260 - 227,9								3	3	3
280 - 229,9								9	9	9
300 - 331,9								10	10	10
> 320								5	5	5
Subtotal								**91**	**91**	**91**
Total	12.382	7.050	19.432	97	116	88	37	91	12.811	19.861

Tabla 1-13. Conteo en una estación de pesaje

1.3.1 Tránsito promedio diario -Tpd-

El Tpd se hace contando, durante un lapso establecido, todos los vehículos que pasan por una sección de la vía (todos los carriles y ambas direcciones), luego se saca un promedio diario que se conoce con el nombre de Tpd. La información del Tpd se refina estableciendo el porcentaje de vehículos clase A, B ó C.

Los conteos pueden ser semanales, mensuales e inclusive anuales, en ese caso a la sigla Tpd se le incluye el subíndice “s”, “m”, o, “a” según sea el caso.

El más usual es el Tpds en cuyo caso se refiere a que el conteo se hizo durante una semana.

1.3.2 Período de diseño y vida útil

Los pavimentos se diseñan para que duren un determinado número de años dependiendo del tipo escogido y de algunas condiciones económicas. Por las características funcionales de los pavimentos de concreto, se recomienda que el período de diseño sea igual o superior a los 20 años.

Por su parte la vida útil es el número de años en que el pavimento está en condiciones de permitir la circulación de los vehículos en unas condiciones buenas de operación.

En este manual se considera un periodo de diseño de 20 años para todos los análisis estructurales, el cual bajo premisas teóricas debe coincidir como mínimo con la vida útil del pavimento, en el caso que exista una buena certeza en el análisis de las variables de diseño y su respectiva proyección.

1.4 Clasificación de las vías

En este manual las vías se clasifican según la entidad territorial que las administra, las características propias y finalmente por su ancho. Estas clasificaciones tienen como objetivo el de ayudarle a los diseñadores a aproximarse a la selección del tránsito, especialmente para aquellos lugares en los que no se tienen registros históricos o en los que se trata de pavimentar una vía por la que circulan pocos vehículos pesados.

1.4.1 Según la entidad territorial de que depende la vía

1.4.1.1 Vías nacionales (Primarias) - Vp

Su administración la hace la nación a través de un ministerio o un instituto asociado al estado, en Colombia generalmente están a cargo del Instituto Nacional de Vías - INVIAS.

Estas se pueden considerar como las carreteras más importantes del país, están casi todas pavimentadas y hacen parte de la red primaria de vías. De estas vías se consiguen registros de conteos de tránsito en el INVIAS lo que permite hacer análisis más completos; por su importancia se pueden llamar Primarias.

1.4.1.2 Vías departamentales (Secundarias) - Vs

Están a cargo de los departamentos, normalmente hacen parte de la red secundaria, aunque algunas pueden tener características similares a las de las vías nacionales. Estas carreteras unen municipios de uno o más departamentos, en buena parte de ellas la superficie sobre la que circulan los vehículos corresponde a la de materiales granulares, que pueden ser seleccionados o no. Estas carreteras por su importancia se denominan como Secundarias.

1.4.1.3 Carreteras municipales (Terciarias o vasculares) - Vt

Son las que dependen administrativamente de los municipios. Dependiendo de la importancia que tengan pueden estar pavimentas o no, algunas pueden unir dos o más municipios sin llegar a ser departamentales. En principio con esta red se sirve a las veredas y a los caseríos.

1.4.1.4 Otras

En el país existen otras figuras administrativas como son los distritos (capitales, turísticos, especiales) o las Áreas Metropolitanas, en ese caso las características de las vías se pueden asimilar a alguna de las definidas en los anteriores numerales.

1.4.2 Por sus características

1.4.2.1 Autopistas - AP

Es una vía en la cual los vehículos pueden circular en una dirección determinada, separados, por algún tipo de elemento físico de los vehículos que viajan en otra dirección, en dos o más carriles. Se denominan con la sigla AP.

Son vías en las que no se interrumpe el tránsito con entradas y salidas que obliguen a los vehículos a cambiar la velocidad ni con señales de PARE, en ellas se puede circular con un régimen continuo de velocidad. Los ingresos y salidas se hacen a través de ramales adjuntos que permiten ganar o perder velocidad con poca interferencia con los vehículos que se desplazan por la autopista.

1.4.2.2 Carreteras multi-carriles - MC

Son vías divididas, con dos o más carriles por sentido, con control parcial o total de acceso y salida. Se denominan con la sigla MC.

1.4.2.3 Carreteras de dos direcciones - CC

Son vías de dos carriles, uno por cada sentido de circulación, con intersecciones a nivel y accesos directos desde sus márgenes. Se denominan con la sigla CC.

1.4.3 Según el ancho de la vía

Otra clasificación de las vías se puede hacer en función del ancho que ellas tienen, pues eso tiene una influencia importante en la determinación del tránsito para el diseño del pavimento.

1.4.3.1 Estrechas - E

Son aquellas en las cuales la sección por donde circulan los vehículos tiene un ancho inferior a los 5 m. Se denominan con la sigla E.

1.4.3.2 Medias - M

En esta categoría se encuentran las vías en las que los vehículos circulan por una sección con un ancho que va de 5 a 6 m. Se denominan con la sigla M.

1.4.3.3 Anchas - A

Son aquellas vías que pueden tener más de dos carriles y cada uno de ellos tienen más de 3.5 m de ancho. Se denominan con la sigla A.

1.5 Asignación del tránsito según las características y el ancho de la vía

La clasificación de las vías según el ancho ayuda a establecer que parte de los vehículos van a circular por el carril al cual se le desea diseñar el pavimento. Cuando no se tiene una distribución del tránsito por carriles se asigna el tránsito en las proporciones indicadas en los siguientes numerales.

1.5.1 Autopistas y carreteras multicarriles

En las autopistas y en las vías muticarriles en cada dirección de circulación, el tránsito de los vehículos pesados se canaliza hacia la derecha de la vía, por lo cual dicho carril es el que soporta la mayor carga y por ende, en general, deberá ser objeto de un diseño más cuidadoso. Si no hay mediciones directas en cada carril se asume, que en cada dirección va la mitad del tránsito, además el 90%, o el 75%, de la los vehículos pesados circulan por el carril de la derecha si la autopista tiene dos o tres carriles respectivamente.

En la Tabla 1-14 se muestra un resumen de la manera como se selecciona el porcentaje de vehículos pesados para el diseño del carril más solicitado.

1.5.2 Carreteras de dos direcciones

En las carreteras de dos direcciones, la asignación del tránsito para el carril de diseño dependerá del ancho de la vía así:

- Para vías estrechas la totalidad del tránsito
- Para vías de ancho medio el 75% y
- Para vías anchas el 50%

En la Figura 1.3 se tiene un gráfico con el que se puede definir el porcentaje de vehículos que circulan en el carril de diseño en función del tránsito promedio diario obtenido con un conteo anual,-Tpda- sin tener en cuenta los vehículos que tienen menos de 6 llantas.

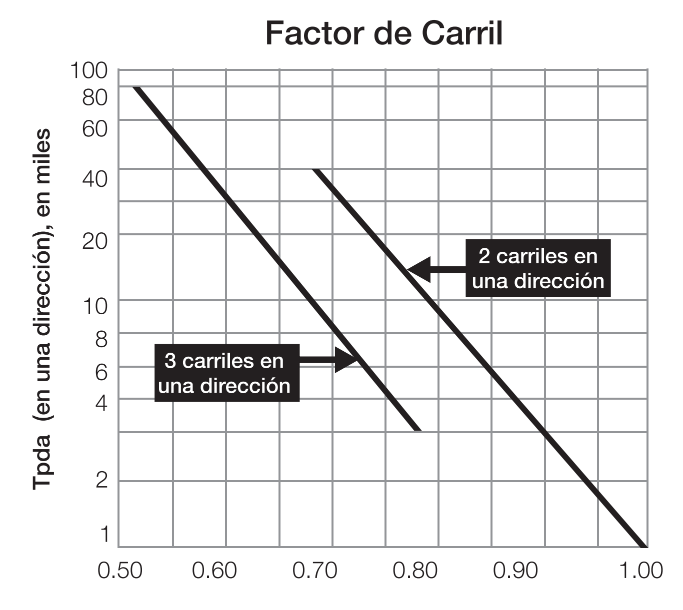


Figura 1.3. Porcentaje de camiones en el carril de diseño

1.6 Porcentaje de vehículos para el carril de diseño

Cuando se entra al detalle de diseñar el pavimento para una vía es necesario determinar el número de vehículos pesados que van a circular por el carril más solicitado. Con base en las proporciones dadas en los numerales anteriores, se establecen los factores de distribución vehicular por carril que se establecen en la Tabla 1-14.

1.7 Espectro de cargas

La Portland Cement Association -PCA-, en el método de diseño propuesto en 1984, presenta una tabla de distribución de ejes para cuatro categorías de tránsito, con base en las cuales soporta el método simplificado de diseño cuando no se tiene una tabla de pesaje como la mostrada en la Tabla 1-13. Conteo en una estación de pesaje.

En Colombia existe un estudio (Ref. 9.6) sobre la distribución de cargas por eje para mil camiones en función del tránsito promedio diario semanal -TPDs- que se realizó con base en el análisis de más de 10 años (1987-2000) de registros de las estaciones de pesaje a cargo del INVIAS.

Del estudio mencionado en el párrafo anterior se puede sacar una información valiosa para hacer diseños de pavimentos, dado que parte del análisis de una serie extensa de datos.

La información permite establecer el número de ejes simples, tándem o trídem para vías en las que circulan desde pocos vehículos, hasta más de 10.000. En la Tabla 1-15 se observa que para una vía con un TPDs de 0 a 500 por cada mil camiones que pasen por la vía hay 1879 ejes simples, 114 ejes tándem y 23 ejes trídem.

1.8 Espectro de cargas según los pesajes del INVIAS

El espectro completo establecido para la red vial nacional está consignado desde la Tabla 1-16 hasta la Tabla 1-18, para ejes sencillos, tándem y trídem.

Clasificación de la vía	% por dirección	% para el carril de diseño	% del Tpd en el carril de diseño
Autopistas y vías multicarril con tres carriles por dirección	50	75	37,5
Autopistas y vías multicarril con dos carriles por dirección	50	90	45,0
Carreteras anchas y de dos direcciones	50	100	50
Carreteras de dos direcciones y con ancho medio	100	75	75
Carreteras estrechas y de dos direcciones	100	100	100

Tabla 1-14. Porcentaje de vehículos para el carril de diseño

Eje	Ejes por 1000 camiones (TPDs)					
	0-500	500-1.000	1.000-2.500	2.500-5.000	5.000-10.000	Mayor que 10.000
Sencillos	1.879	1.892	1.796	1.760	1.782	1.839
Tándem	114	120	228	282	253	177
Trídem	23	30	67	76	64	38

Tabla 1-15. Número de ejes sencillos, tándem y trídem por cada mil camiones para vías con diferentes Tránsitos promedio diario semanal

Eje sencillo kN	Ejes por 1.000 camiones - TPDs					
	0-500	500-1.000	1.000-2.500	2.500-5.000	5.000-10.000	Más de 10.000
19.6	43	42				
21.56			39	37		
23.52					38	41
29.4	369	367				
32.34			334	320		
35.28					330	352
39.2	404	403				
43.12			379	368		
47.04					376	393
49	226	229				
53.9			257	268		
58.8					260	241
58.8	119	119				
64.68			132	138		
70.56					133	124
68.6	73	72				
75.46			69	67		
82.32					68	71
78.4	69	84				
86.24			63	61		
94.08					62	66
88.2	84	84				
97.02			76	73		
105.84					75	80
98	83	83				
107.8			76	72		
117.6					74	80
107.8	116	116				
118.58			105	101		
129.36					104	111
117.6	121	121				
129.36			110	105		
141.12					108	116
127.4	103	103				
140.14			93	89		
152.88					92	98
137.2	50	50				
150.92			46	44		
164.64					45	48
147	19	19				
161.7			17	17		
176.4					17	18

Tabla 1-16. Distribución de cargas para el eje sencillo por cada 1.000 camiones para diferentes categorías del tránsito

Eje Tándem kN	Ejes por 1.000 camiones - TPDs					
	0-500	500-1.000	1.000-2.500	2.500-5.000	5.000-10.000	Más de 10.000
58.8	2	2				
64.68			4	5		
70.56					5	3
78.4	8	8				
86.24			17	21		
94.08					19	13
98	6	6				
107.8			11	14		
117.6					13	9
117.6	6	6				
129.36			12	16		
141.12					14	10
137.2	7	7				
150.92			13	16		
164.64					15	11
156.8	7	7				
172.48			13	17		
188.16					15	11
176.4	9	9				
194.04			18	23		
211.68					21	15
196	14	15				
215.6			30	38		
235.2					34	24
215.6	27	29				
237.16			55	67		
258.72					60	42
235.2	20	21				
258.72			37	44		
282.24					39	28
254.8	6	7				
280.28			12	14		
305.76					12	8
274.4	1	2				
301.84			4	5		
329.28					4	2
294	1	1				
323.4			2	2		
352.8					2	1

Tabla 1-17. Distribución de cargas para el eje tándem por cada 1.000 camiones para diferentes categorías del tránsito

Eje Trídem kN	Ejes por 1.000 camiones - TPDs					
	0-500	500-1.000	1.000-2.500	2.500-5.000	5.000-10.000	Más de 10.000
58.8		1				
64.68			1	2		
70.56					1	1
78.4	1	1				
86.24			2	3		
94.08					2	1
98		1				
107.8			1	1		
117.6					1	1
117.6						
129.36			1	1		
141.12					1	1
137.2						
150.92			1	1		
164.64					1	1
156.8	1	1				
172.48			2	2		
188.16					2	1
176.4	1	1				
194.04			2	2		
211.68					2	1
196	1	1				
215.6			3	3		
235.2					3	2
215.6	1	2				
237.16			5	5		
258.72					4	3
235.2	4	5				
258.72			11	13		
282.24					11	6
254.8	5	7				
280.28			15	17		
305.76					14	8
274.4	3	4				
301.84			9	10		
329.28					8	5
294	2	2				
323.4			5	6		
352.8					5	3
313.6	1	1				
344.96			3	3		
376.32					3	1
333.2	1	1				
366.52			2	3		
399.84					2	1
352.8	1	1				
388.08			2	2		
423.36					2	1
372.4	1	1				
409.64			2	2		
446.88					2	1

Tabla 1-18. Distribución de cargas para el eje tridem por cada 1.000 camiones para diferentes categorías del tránsito

Con base en la información de las tres tablas anteriores y utilizando la información de la Tabla 1-15 se puede obtener el espectro de Ejes equivalentes para la red vial nacional, esa información se consigna desde la Tabla 1-19, hasta la Tabla 1-21, para los ejes simples, tándem y trídem respectivamente.

Eje simple kN	**Ejes por 1.000 camiones - TPDs**					
	0-500	**500-1.000**	**1.000-2.500**	**2.500-5.000**	**5.000-10.000**	**Más de 10.000**
19.6	0.07	0.07				
21.56			0.10	0.09		
23.52					0.14	0.15
29.4	3.69	3.67				
32.34			5.13	4.91		
35.28					7.49	7.99
39.2	14.74	14.70				
43.12			21.24	20.62		
47.04					31.16	32.57
49	22.51	22.81				
53.9			39.31	40.99		
58.8					58.82	54.52
58.8	26.92	26.92				
64.68			45.86	47.94		
70.56					68.35	63.72
68.6	33.05	32.60				
75.46			47.97	46.58		
82.32					69.93	73.01
78.4	56.97	69.35				
86.24			79.87	77.34		
94.08					116.28	123.78
88.2	117.83	117.83				
97.02			163.70	157.24		
105.84					238.98	254.91
98	187.05	187.05				
107.8			263.01	249.17		
117.6					378.82	409.54
107.8	401.43	401.43				
118.58			557.97	536.72		
129.36					817.53	872.56
117.6	619.43	619.43				
129.36			864.70	825.39		
141.12					1255.87	1348.89
127.4	755.91	755.91				
140.14			1048.05	1002.98		
152.88					1533.69	1633.71
137.2	512.19	512.19				
150.92			723.59	692.12		
164.64					1047.11	1116.92
147	265.49	265.49				
161.7			364.77	364.77		
176.4					539.59	571.33
Total	**3017.29**	**3029.47**	**4225.25**	**4066.85**	**6163.77**	**6563.62**
	1.61	1.60	2.35	2.31	3.46	3.57

Tabla 1-19. Distribución de ejes equivalentes para el eje sencillo por cada 1.000 camiones para diferentes categorías del tránsito

Eje Tándem kN	Ejes por 1.000 camiones - TPDs					
	0-500	500-1.000	1.000-2.500	2.500-5.000	5.000-10.000	Mayor que 10.000
58.8	0.07	0.07				
64.68			0.20	0.25		
70.56					0.36	0.22
78.4	0.89	0.89				
86.24			2.83	3.50		
94.08					4.56	3.12
98	1.71	1.71				
107.8			4.68	5.95		
117.6					7.97	5.52
117.6	3.68	3.68				
129.36			10.97	14.63		
141.12					18.45	13.18
137.2	8.20	8.20				
150.92			22.72	27.96		
164.64					37.77	27.70
156.8	14.36	14.36				
172.48			39.80	52.05		
188.16					66.19	48.54
176.4	30.28	30.28				
194.04			90.38	115.49		
211.68					151.96	108.54
196	73.33	78.56				
215.6			234.48	297.01		
235.2					382.98	270.34
215.6	211.03	226.66				
237.16			641.49	781.46		
258.72					1008.54	705.98
235.2	225.28	236.54				
258.72			621.93	739.60		
282.24					944.75	678.28
254.8	94.59	110.35				
280.28			282.31	329.36		
305.76					406.85	271.23
274.4	21.52	43.04				
301.84			128.46	160.58		
329.28					185.14	92.57
294	28.76	28.76				
323.4			85.82	85.82		
352.8					123.68	61.84
Total	**713.69**	**783.11**	**2166.08**	**2613.64**	**3339.20**	**2287.05**
	6.26	6.53	9.50	9.27	13.20	12.92

Tabla 1-20. Distribución de ejes equivalentes para el eje tándem por cada 1.000 camiones para diferentes categorías del tránsito

Eje Trídem kN	Ejes por 1.000 camiones - TPDs					
	0-500	500-1.000	1.000-2.500	2.500-5.000	5.000-10.000	Mayor que 10.000
58.8		0.01				
64.68			0.01	0.02		
70.56					0.02	0.02
78.4	0.03	0.03				
86.24			0.08	0.12		
94.08					0.11	0.06
98		0.07				
107.8			0.10	0.10		
117.6					0.15	0.15
117.6						
129.36			0.22	0.22		
141.12					0.32	0.32
137.2						
150.92			0.43	0.43		
164.64					0.62	0.62
156.8	0.50	0.50				
172.48			1.51	1.51		
188.16					2.20	1.10
176.4	0.83	0.83				
194.04			2.51	2.51		
211.68					3.65	1.83
196	1.31	1.31				
215.6			5.93	5.93		
235.2					8.62	5.75
215.6	1.98	3.95				
237.16			14.89	14.89		
258.72					17.32	12.99
235.2	11.50	14.37				
258.72			47.63	56.29		
282.24					69.24	37.77
254.8	20.27	28.38				
280.28			91.63	103.84		
305.76					124.32	71.04
274.4	16.73	22.30				
301.84			75.61	84.01		
329.28					97.70	61.06
294	15.00	15.00				
323.4			56.51	67.81		
352.8					8[illegible].1	49.29
313.6	9.90	9.90				
344.96			44.75	44.75		
376.32					65.06	21.69
333.2	12.85	12.85				
366.52			38.72	58.08		
399.84					56.29	28.14
352.8	16.43	16.43				
388.08			49.51	49.51		
423.36					71.97	35.99
372.4	20.73	20.73				
409.64			62.47	62.47		
446.88					90.81	45.41
Total	**128.07**	**146.68**	**492.50**	**552.49**	**690.55**	**373.21**
	5.57	4.89	7.35	7.27	10.79	9.82

Tabla 1-21. Distribución de ejes equivalentes para el eje trídem por cada 1.000 camiones para diferentes categorías del tránsito

Si a las cargas correspondientes al espectro de los ejes equivalentes para 1000 vehículos se le aplican los exponenciales y los ejes patrón dados en la Tabla 1-12, se puede obtener el número de ejes equivalentes para cada mil camiones para los diferentes rangos de TPDs seleccionados. Esa información se observa en la Tabla 1-22.

1.8.1 Categorías de tránsito para la selección de espesores

Para facilitar el diseño de los pavimentos se tendrán categorías de tránsito según la Tabla 1-23. En esta tabla se tienen en cuenta las consideraciones dadas a lo largo de este capítulo, en especial lo que se refiere al período de diseño, crecimiento del tránsito y distribución vehicular.

Eje	Ejes por 1.000 camiones - TPDs					
	0-500	500-1.000	1.000-2.500	2.500-5.000	5.000-10.000	Mayor que 10.000
Simple	3.017	3.030	4.225	4.067	6.164	6.564
Tándem	714	783	2.166	2.614	3.339	2.287
Trídem	128	147	493	553	691	373
Total	**3.859**	**3.960**	**6.884**	**7.234**	**10.194**	**9.224**

Tabla 1-22. Ejes equivalentes para 1000 camiones

Categoría	Tipo de Vía	TPDs	Ejes acumulados de 8.2
T_o	(Vt) – (E)	0 a 200	< 1´000.000
T_1	(Vs) – (M ó A) – (CC)	201 a 500	1´000.000 a 1´500.000
T_2	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	501 a 1000	1´500.000 a 5´000.000
T_3	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	1.001 a 2.500	5´000.000 a 9´000.000
T_4	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	2.501 a 5.000	9´000.000 a 17´000.000
T_5	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	5.001 a 10.000	17´000.000 a 25´000.000
T_6	(Vp) – (A) – (AP-MC-CC)	Más de 10.001	25´000.000 a 100´000.000

Tabla 1-23. Categorías de tránsito para la selección de espesores

2. El suelo

Se denomina suelo a la acumulación no consolidada de partículas sólidas, agua y aire, provenientes de la desintegración mecánica o la descomposición química de las rocas. Es una de las variables que está involucrada en el diseño de los pavimentos de concreto, por eso es necesario conocer su clasificación y su comportamiento mecánico, con el fin de predecir su respuesta ante los esfuerzos que se le aplican bajo la acción de las cargas estáticas y dinámicas que ofrece el tránsito y el propio peso de la estructura del pavimento sobre su fundación, que en la técnica de los pavimentos recibe el nombre de subrasante

2.1 Identificación de suelos

La masa de suelo se encuentra constituida por una serie de partículas sólidas que son granos de diferentes minerales y formas, entre los cuales existen vacíos, que pueden estar ocupados por agua o aire.

2.1.1 Textura, tamaño, forma y granulometría

La base del conocimiento del comportamiento del suelo parte de la identificación física del mismo. Para tal efecto, se asumen algunas de las características del suelo, que permitan una aproximación a su identificación, como son la textura, el tamaño, la forma y la granulometría, tal como se indica en la Tabla 2-1 (Ref. 9.22).

En cuanto al tamaño de grano, cada sistema de clasificación propone unos límites con su respectiva denominación. En la Tabla 2-2 (Ref. 9.22) se observa un resumen de algunos de ellos.

Los valores para los tamaños de los granos se pueden obtener a partir del análisis mecánico, o pruebas de gradación, que se hace con una serie de tamices estandarizados, en el cual se pesa el porcentaje de suelo que queda retenido en cada tamiz y luego se obtienen los porcentajes de granos que existen en una masa de suelo de acuerdo con su tamaño. En la Tabla 2-3 se muestra una serie de tamices estandarizados.

Después de determinar el porcentaje de peso de suelo retenido y que pasa(en peso) en cada tamiz, durante el análisis mecánico, se lleva la información a un papel semi-logarítmico, fijando el tamaño de la abertura del tamiz, que corresponde al tamaño -D- de los granos, sobre la escala logarítmica en el eje de las abscisas y el porcentaje de material que pasa en el eje de las ordenadas, al unir los puntos se obtiene lo que se denomina una curva granulométrica.

Característica	Material		
	Gravas y arenas	**Limos**	**Arcillas**
Tamaño de grano	**Grano grueso** Pueden verse los granos individualmente a simple vista	**Grano fino** No pueden verse los granos individualmente a simple vista	**Grano fino** No pueden verse los granos individualmente a simple vista
Característica	**Sin cohesión** No plásticos Granulares	**Baja cohesión** No plásticos Granulares	**Cohesivos** Plásticos
Efecto del agua	**No muy importante** (excepto en la pérdida de humedad bajo cargas dinámicas)	**Importante**	**Muy Importante**
Efecto del tamaño de grano y su distribución	**Importante**	**No muy importante**	**Importancia relativa**

Tabla 2-1. Textura y otras características de los suelos.

El análisis granulométrico permite obtener una información acerca del suelo como son el Coeficiente de uniformidad -Cu- y el Coeficiente de curvatura -Cc-, estos parámetros propuestos por Allen Hazen (Ref. 9.24) se calculan con la Ecuación 2-1 y 2.2 respectivamente.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Ecuación 2-1

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} * D_{10}}$$

Ecuación 2-2

En donde:

D_{10}, D_{30}, y D_{60}, es el tamaño del tamiz por el cual pasa el 10, 30 y 60% del suelo respectivamente.

En el rango de tamaños comprendidos entre 0.05 mm y 0.075 mm se vuelve impracticable el tamizado, por lo que se utiliza el análisis de hidrómetro, que está basado en la ley de Stoke, en el que los granos muy finos se sedimentan en un líquido viscoso en el cual la velocidad de caída depende del diámetro del grano, de las densidades del líquido y de los granos en suspensión. El diámetro del grano se puede calcular conociendo la velocidad de la caída.

La forma de las partículas es una característica importante en la descripción de un suelo, ya que ella afecta la repuesta inter-granular de los mismos. La forma se define con base en su aspecto visual y se denominan como redondeados, sub-redondeados, sub-angulares y angulares. Para ayudar a definir la forma se usa la relación que recibe el nombre de coeficiente de redondez (R), la cual es el cociente entre el radio mínimo del tamaño de las partículas y el del radio circunscrito de la partícula. En la Tabla 2-4 (9.24) se presenta una ayuda para la clasificación de las partículas según el coeficiente de redondez.

Los suelos se pueden clasificar por su tamaño y existen algunas denominaciones de uso corriente. En la Tabla 2-5 (Ref. 9.24), se indican las utilizadas por la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y por el Corps of Engineeres, Departament of Army, and Berau Reclamation, más conocido como el Sistema Unificado, en función de los límites de tamaño para gravas, arenas, limos y arcillas.

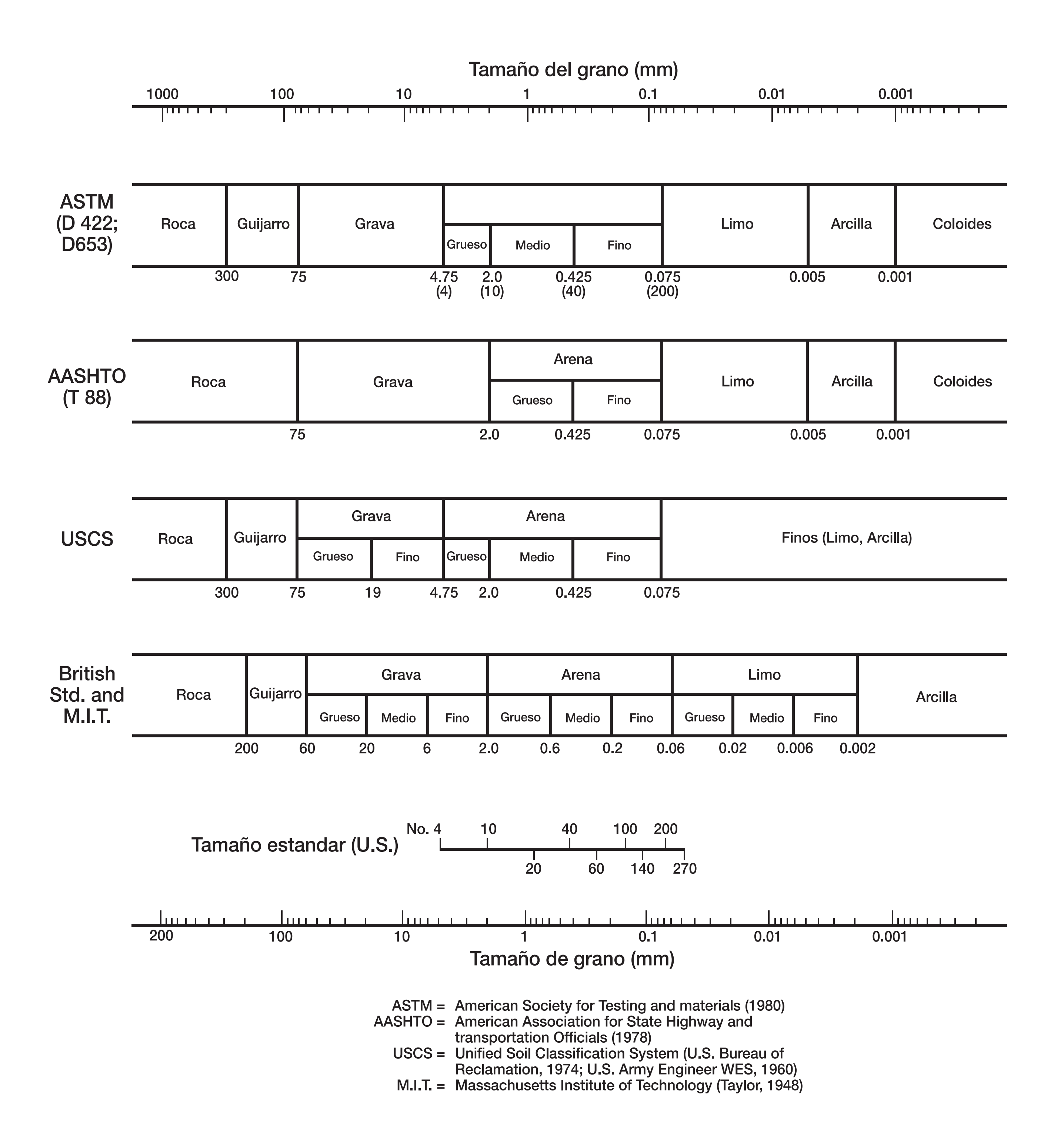


Tabla 2-2. Rango de tamaño de los granos de acuerdo a varios sistemas de clasificación (modificado después de Al-Hussaini, 1977)

Tamiz estándar No	Tamaño de apertura de tamiz estándar (mm)
4	4.750
10	2.000
20	0.850
40	0.425
60	0.250
100	0.150
140	0.106
200	0.075

Tabla 2-3. Descripción de apertura de tamices

Valor de R	Descripción
< 0.17	Muy angular
0.2 ≈ R ≈ 0.5	Angular a redondeado
≈ 0.7	Muy redondeado

Tabla 2-4. Coeficiente de redondez

Sistema de Clasificación	Tamaño de grano
Unificado	Gravas: 75 mm a 4.75 mm
	Arenas 4.75 mm a 0.075 mm
	Finos < 0.075 mm
AASHTO	Gravas: 75 mm a 2 mm
	Arenas 2 mm a 0.05 mm
	Limos 0,05 mm a 0,002 mm
	Arcillas < 0.002 mm

Tabla 2-5. Límites de tamaño de partículas

El comportamiento mecánico de los suelos fino granulares depende del contenido de agua presente en los vacíos, de manera que cuando se incrementa la humedad, el suelo deja de comportarse como un sólido, pasando por los estados semi-sólido, plástico y aún líquido; los límites de los comportamientos están fijados por los Límites de Atterberg.

Se define como Límite Líquido (LL), el contenido de humedad, en porcentaje, en el que un suelo deja de comportarse como un líquido y comienza a comportase como un plástico. El Límite Plástico (LP) se define como el contenido de humedad, en porcentaje, en el que un suelo deja de comportarse como un plástico y comienza a comportase como un semi - sólido, por último el Límite de Encogimiento (LE) es el contenido de humedad en el que el suelo deja de comportarse como un semi-sólido y se comporta como un sólido. En la Figura 2.1 se representan de manera esquemática los límites de comportamiento del suelo.

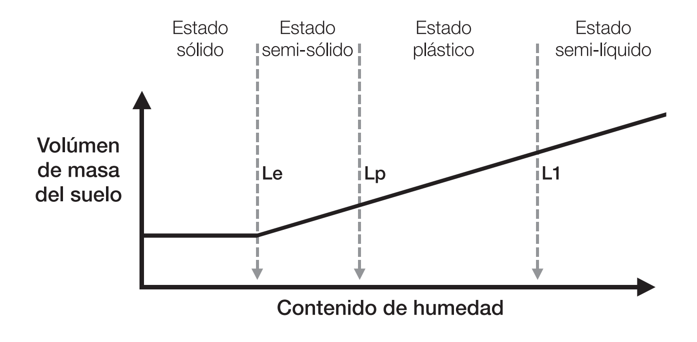


Figura 2.1. Definición de los límites de Atterberg

La diferencia entre los porcentajes de humedad correspondientes al Límite Líquido y al Límite Plástico de un suelo, se define como el Índice de Plasticidad (IP). Los límites de Atterberg varían en función del origen, la naturaleza y la cantidad de minerales arcillosos que hay en el suelo. Los límites se determinan con los ensayos establecidos en las Normas INV E-125-07, E-126-07 y E-127-07, para el Límite Líquido, el Límite plástico y el Límite de contracción respectivamente, la norma INV E-126 -07 explica como se obtiene el Índice de plasticidad.

Las arcillas están constituidas básicamente por silicatos de aluminio hidratados, presentando además, en algunas ocasiones, silicatos de magnesio, hierro u otros minerales, también hidratados, con estructura cristalina definida, cuyos átomos se disponen en láminas (sílica y alumínica).

De acuerdo con su estructura reticular, los minerales de arcilla se encasillan en tres grandes grupos: caolinitas, montmorillonitas e ilitas. Por lo general las arcillas caoliníticas son relativamente estables en presencia de agua dado que no permite la inclusión de moléculas de agua en su firme estructura; las montmorillonitas por el contrario, tienen débiles uniones reticulares de mineral por lo que el agua puede introducirse en la estructura fácilmente, lo anterior produce un incremento en el volumen de los cristales, que se traduce en una expansión; Las ilitas tienden a asimilarse a las montmorillonitas en su estructura, pero estas tienden a formar grumos, que reducen el área expuesta al agua por unidad de volumen; por ello, su expansividad es menor.

Con base en los límites líquido y plástico se puede tener una aproximación a la clasificación de los suelos arcillosos, como se indica en la Tabla 2-6 (Ref. 9.24).

Descripción	Límite Líquido	Límite Plástico
Caolinita	35 – 100	25 – 35
Ilita	50 –100	30 – 60
Montmorillonita	100 – 800	50 –100
Arcilla azul de Boston	60	20
Arcilla de Londres	66	27

Tabla 2-6. Rango de límites Líquido y Plástico de algunos materiales

2.2 Clasificación de suelos

Las clasificaciones de suelos buscan por lo general codificar grupos y subgrupos de materiales con similares propiedades como material de construcción de vías.

Las dos clasificaciones más usuales son la de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y el sistema de clasificación de suelos unificado, propuesto por la ASTM.

2.2.1 Sistema de clasificación de suelos según la AASHTO

El sistema de clasificación de la AASHTO fue propuesto por la Highway Research Board´s Committee on Clasification of Materials for Subgrades and Granular Type Roads (1945); en el que se clasifica el suelo en ocho grupos, de A-1 al A-8 basados en la distribución del tamaño de grano, Límite Líquido e Índice Plástico.

Los grupos A-1, A-2, y A-3 denotan los suelos gruesos granulares mientras que, los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7 denotan los suelos fino granulares. Las turbas y suelos orgánicos se clasifican bajo el grupo A-8 (Ref. 9.22).

2.2.1.1 Índice de grupo

Para refinar la clasificación de los materiales de las subrasantes, se desarrolló el índice de Grupo, en el que entre más alto sea dicho valor más pobre será su comportamiento como subrasante, su determinación está dada por Ecuación 2-3:

$$IG=(F_{200}-35)\ [0.2+0.005(LL-40)]+0.01\ (F_{200}-15)(IP-10)$$

Ecuación 2-3

En donde:

F_{200}= % que pasa tamiz No 200, expresado como número entero

LL = Límite Líquido

IP = Índice de Plasticidad

Cuando se calcula el IG entre los grupos A-2-6 y A-2-7, se utiliza la Ecuación 2-4:

$$IG=0.01(F_{200}-15)(IP-10)$$

Ecuación 2-4

En donde las siglas tienen el mismo significado que el que tienen en la Ecuación 2-3.

Con base en lo mencionado se muestra en la Tabla 2-7 (9.8) el sistema de clasificación según la AASHTO.

2.2.2 Sistema Unificado de clasificación de suelos

El sistema Unificado de clasificación de suelos se usa prácticamente en cualquier trabajo de geotecnia. En este sistema se utilizan símbolos para su identificación como lo indica la Tabla 2-9.

El procedimiento para la clasificación de suelos por el sistema Unificado utiliza una tabla de criterios de escogencia junto con la Carta de Plasticidad de Casagrande (Figura 2.2) (9.8).

2.2.2.1 Carta de Plasticidad de Casagrande

La Carta de Plasticidad de Casagrande, que se muestra en la Figura 2.2 es un plano cartesiano en el cual las abscisas representan el Índice de Plasticidad del suelo y las ordenadas el Límite Líquido.

Con la ayuda de tres rectas se definen cinco sectores, que caracterizan suelos con comportamiento mecánico e hidráulico similar. Las ecuaciones de las tres rectas mencionadas son:

$$IP = 0,73\ (LL - 20)$$

Ecuación 2-5

$$LL = 20$$

Ecuación 2-6

$$IP = 50$$

Ecuación 2-7

La Ecuación 2-5 define la recta conocida con el nombre de Línea A.

2.2.3 Potencial expansivo

Para identificar el potencial expansivo de la subrasante, se debe conocer el tipo de suelo fino que se encuentra en su matriz. Por lo general los suelos más expansivos pertenecen a los grupos A-6 y A-7 (Clasificación AASHTO) o CH y MH (Clasificación Unificada), los cuales son suelos de alta plasticidad o alta compresibilidad.

Para determinar el potencial expansivo, se realizan ensayos como los de CBR, que miden la expansión causada por la inmersión en el agua de una muestra compactada, a una densidad y humedad prefijadas, con una carga equivalente al peso de las capas del pavimento que soportará; el porcentaje de hinchamiento, medido como la relación, entre el incremento por cien de la altura de la muestra respecto a su altura inicial. Este ensayo puede correlacionarse con el potencial expansivo del suelo (AASHTO T-193; Norma INV E148-07).

Existen otros ensayos como el de expansión libre y el de equivalente de arena que también permiten determinar el potencial de expansión o el hinchamiento en una muestra de suelo fino dada, o ambos.

La carta en la que se resume el sistema Unificado para la clasificación de suelos se indica en la Tabla 2-10 (9.8).

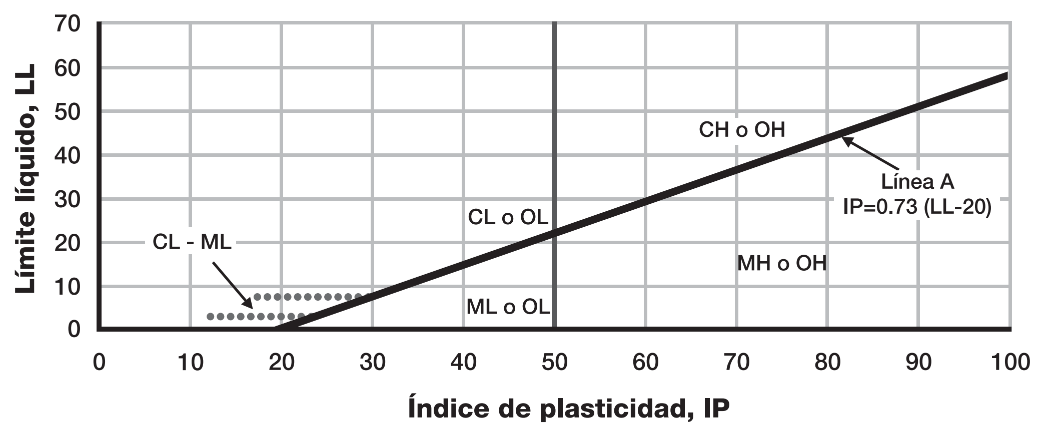


Figura 2.2. Carta de Plasticidad de Casagrande

Clasificación General	**Materiales limosos y arcillosos (Más del 35% del total de la muestra pasa el tamiz No 200)**						
Grupo de clasificación	**A-1**		**A-3**	**A-2**			
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis de tamizado % que pasa							
Tamiz No 10	50 máx.						
Tamiz No 40	30 máx.	50 máx.	51 máx.				
Tamiz No 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.
Para fracciones que pasan el tamiz No 40							
Límite Líquido (LL)				40 máx.	41 mín	40 máx.	41 mín
Límite Plástico (LP)	6 máx.		No plástico	10 máx.	10 máx.	11 mín	11 mín
Tipo de material	Fragmentos de roca, gravas y arenas		Arena fina	Grava limosa o arcillosa y arenas			
Clase de subrasante	de excelente a buena						

Tabla 2-7. Sistema de clasificación de suelos según la AASHTO

Clasificación General	Materiales limosos y arcillosos (Más del 35% del total de la muestra pasa el tamiz No 200)				
Grupo de clasificación	A-4	A-5	A-6	A-7	
				A-7-5[a]	A-7-5[b]
Análisis de tamizado % que pasa					Sí IP ≤ LL-30, entonces es A-7-5[a] Sí IP > LL-30, entonces es A-7-5[b]
Tamiz No 10					
Tamiz No 40					
Tamiz No 200	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Para fracciones que pasan el tamiz No 40					
Límite Líquido (LL)	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	41 mín
Límite Plástico (LP)	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	11 mín.
Tipo de material	suelos limosos		suelos arcillosos		
Clase de subrasante	de buena a pobre				

Tabla 2-8. Sistema de clasificación de suelos según la AASHTO (continuación)

Descripción	Símbolo
Gravas	G
Arenas	S
Limos	M
Arcillas	C
Limos y arcillas orgánicas	O
Turba y suelos orgánicos	Pt
Alta plasticidad o alta compresibilidad	H
Baja Plasticidad o baja compresibilidad	L
Bien gradado	W
Pobremente gradado	P

Tabla 2-9. Símbolos usados en el sistema Unificado de clasificación de suelos

Divisiones	Criterio	Símbolo
Suelos Grueso Granulares	$F_{200} < 5$, $C_u \geq 4$, $1 \leq C_c \leq 3$	GW
$R_{200} > 50$	$F_{200} < 5$, $C_u < 4$, y/o C_c no se encuentra entre 1 - 3	GP
Gravas $R_4 > 0.5\ R_{200}$	$F_{200} > 12$, $IP < 4$, o se localiza debajo de la línea A en la carta de plasticidad	GM
	$F_{200} > 12$, $IP > 7$, o se localiza en o sobre la línea A en la carta de plasticidad	GC
	$F_{200} > 12$, $LL < 50$, $4 \leq IP \leq 7$ o se localiza en o sobre la línea A en la carta de plasticidad	GC - GM *
	$5 \leq F200 \leq 12$; reúne el criterio de gradación de GW y el criterio de plasticidad de GM	GW - GM*
	$5 \leq F200 \leq 12$; reúne el criterio de gradación de GW y el criterio de plasticidad de GC	GW - GC*
	$5 \leq F200 \leq 12$; reúne el criterio de gradación de GP y el criterio de plasticidad de GM	GP - GM*
	$5 \leq F200 \leq 12$; reúne el criterio de gradación de GP y el criterio de plasticidad de GC	GP - GC*
Arenas $R_4 \leq 0.5\ R_{200}$	$F_{200} < 5$, $C_u \geq 6$, $1 \leq C_c \leq 3$	SW
	$F_{200} < 5$, $C_u < 6$, y/o C_c no se encuentra entre 1 - 3	SP
	$F_{200} > 12$, $IP < 4$, o se localiza debajo de la línea A en la carta de plasticidad	SM
	$F_{200} > 12$, $IP > 7$, o se localiza en o sobre la línea A en la carta de plasticidad	SC
	$F_{200} > 12$, $LL > 50$, $4 \leq IP \leq 7$ o se localiza en o sobre la línea A en la carta de plasticidad	SC - SM*
	$5 \leq F200 \leq 12$; reúne el criterio de gradación de SW y el criterio de plasticidad de SM	SW - SM*
	$5 \leq F200 \leq 12$; reúne el criterio de gradación de SW y el criterio de plasticidad de SC	SW - SC*
	$5 \leq F200 \leq 12$; reúne el criterio de gradación de SP y el criterio de plasticidad de SM	SP - SM*
	$5 \leq F200 \leq 12$; reúne el criterio de gradación de SP y el criterio de plasticidad de SC	SP - SC*
Suelo fino granular inorgánico	$IP < 4$, o se localiza debajo de la línea A en la carta de plasticidad	ML
$R_{200} \leq 50$	$IP > 7$, o se localiza en o sobre la línea A en la carta de plasticidad	CL
Limos y arcillas $LL < 50$	$4 \leq IP \leq 7$ o se localiza sobre la línea A en la carta de plasticidad	CL - ML*
	Se localiza bajo la línea A en la carta de plasticidad	MH
Limos y arcillas $LL \geq 50$	Se localiza en o sobre la línea A en la carta de plasticidad	CH
Suelo fino granular orgánico		
Limo y arcilla orgánica $LL < 50$	$LL_{\text{Sin secar en Horno}} / LL_{\text{seco en Horno}} < 0.75$	OL
Limo y arcilla orgánica $LL > 50$	$LL_{\text{Sin secar en Horno}} / LL_{\text{seco en Horno}} < 0.75$	OH

Nota: F_{200} = porcentaje finos retenidos tamiz No 200; R_{200} = porcentaje finos retenidos sobre tamiz No 200; R_4 = porcentaje finos retenidos sobre tamiz No 4; Cu = Coeficiente de uniformidad; C_c = Coeficiente de curvatura; LL = límite líquido; IP = índice de plasticidad; Límites de Atterberg basados en la fracción que pasa el tamiz No 40.

* Condiciones de frontera, clasificación dual

Tabla 2-10 Clasificación Unificada de suelos

En la Tabla 2-11 (Ref. 9.24) se presenta una correlación entre el potencial expansivo del suelo y algunas de sus características.

2.3 La subrasante

El suelo es un material en el que se encuentran mezclas que pueden ser bien definidas, con unos pocos minerales, hasta heterogéneas; con granos de diferentes tamaños desde bloques o fragmentos de roca, pasando por gravas, arenas, hasta llegar a las arcillas y limos derivados de las rocas altamente meteorizadas, de planicies aluviales o de depósitos glaciares.

La subrasante puede estar constituida por suelos en su estado natural (cortes), o por éstos con algún proceso de mejoramiento tal como sucede cuando se someten a una estabilización mecánica (terraplén) o mixtas, estabilización físico-química con aditivos como el cemento Portland, la cal o el asfalto, entre otras, y básicamente es la fundación sobre la cual el pavimento se construirá.

Es necesario tener en cuenta la sensibilidad del suelo a la humedad, en especial en lo que se refiere a la resistencia y a los eventuales cambios de volumen, las que pueden ocasionar daños a las estructuras. Durante la construcción del pavimento se construyen obras que ayudan a controlar los cambios de humedad del suelo y con ello se controlan las variaciones volumétricas del mismo.

Al suelo como material de fundación, se le debe establecer cuál es su resistencia mecánica determinando la relación entre la carga y la deformación unitaria, y dado que la resistencia varía con las condiciones de humedad, compactación y confinamiento, en lo posible, se deben representar en el laboratorio las mismas condiciones del proyecto.

La respuesta estructural de un pavimento (esfuerzos, desplazamientos y agrietamientos) está influenciada por la subrasante, tanto que parte de las deflexiones en la superficie dependerán de ella. Las propiedades que se recomiendan medir de la subrasante, incluyen la resistencia, el drenaje, la compactación y la estabilidad volumétrica.

2.3.1 Medición de la capacidad estructural de la subrasante

2.3.1.1 Ensayo de Placa

Para diseñar pavimentos de concreto es necesario conocer la deformación que él tiene cuando se le aplica una carga, para ello se hace la prueba de placa; que está normalizada (Norma INVE 168-07, AASHTO T222, ASTM 1196) y consiste en aplicar sobre el suelo "in-situ" una carga por medio de una placa rígida de 760 mm de diámetro y medir su asentamiento.

La carga se aplica con un gato apoyado en un lastre (viga, camión, u otro elemento), y con la ayuda de extensómetros se mide el asentamiento del suelo, se efectúan diferentes incrementos de carga y se miden sus correspondientes deformaciones, con la información

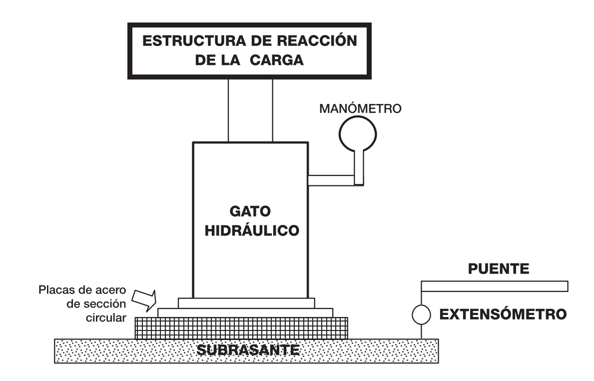


Figura 2.3. Esquema del conjunto de la prueba de placa

Grado de expansión	Hinchamiento	Índice de plasticidad	Expansión libre
No expansiva	< 2	< 10	< 50
Moderada	2 - 4	10 – 20	50 – 100
Altamente expansiva	> 4	> 20	> 100

Tabla 2-11. Correlación entre el potencial expansivo del suelo y algunas de sus características

así obtenida se elabora una gráfica de presión contra penetración, con la cual se determina luego el parámetro denominado Módulo de reacción de la subrasante o valor k. En la Figura 2.3 se muestra un esquema del ensayo de placa.

Para efectos de diseño de pavimentos rígidos se determina el valor k calculando la relación entre la carga, por unidad de área, que es necesario aplicar para generar una penetración, de 0,127 cm de la placa en el terreno.

$$k = \frac{P}{0{,}127}\ (\text{kg/cm}^3)$$

Ecuación 2-8

En donde: P = carga unitaria kg/cm^2 correspondiente a la penetración indicada.

2.3.1.2 Ensayo de CBR

Es común usar la prueba de CBR (California Bearing Ratio) o valor relativo de soporte, desarrollado por la División de Carreteras de California para determinar la resistencia de suelos. La prueba del CBR es un ensayo normalizado (Norma INV-E 148-07, AASHTO T193), en el cual un vástago penetra, en el suelo compactado en un molde, con una presión y a una velocidad controlada; se establecen un conjunto de penetraciones prefijadas y se determina la presión ejercida correspondiente a cada una de ellas; el vástago tiene un área de 19,4 cm^2 y penetra la muestra a una velocidad de 0,127 cm/min.

El valor relativo de soporte (CBR) se expresa en porcentaje y se define como la relación entre la carga unitaria aplicada que produce cierta deformación en la muestra de suelo requerida, para producir igual deformación en una muestra patrón.

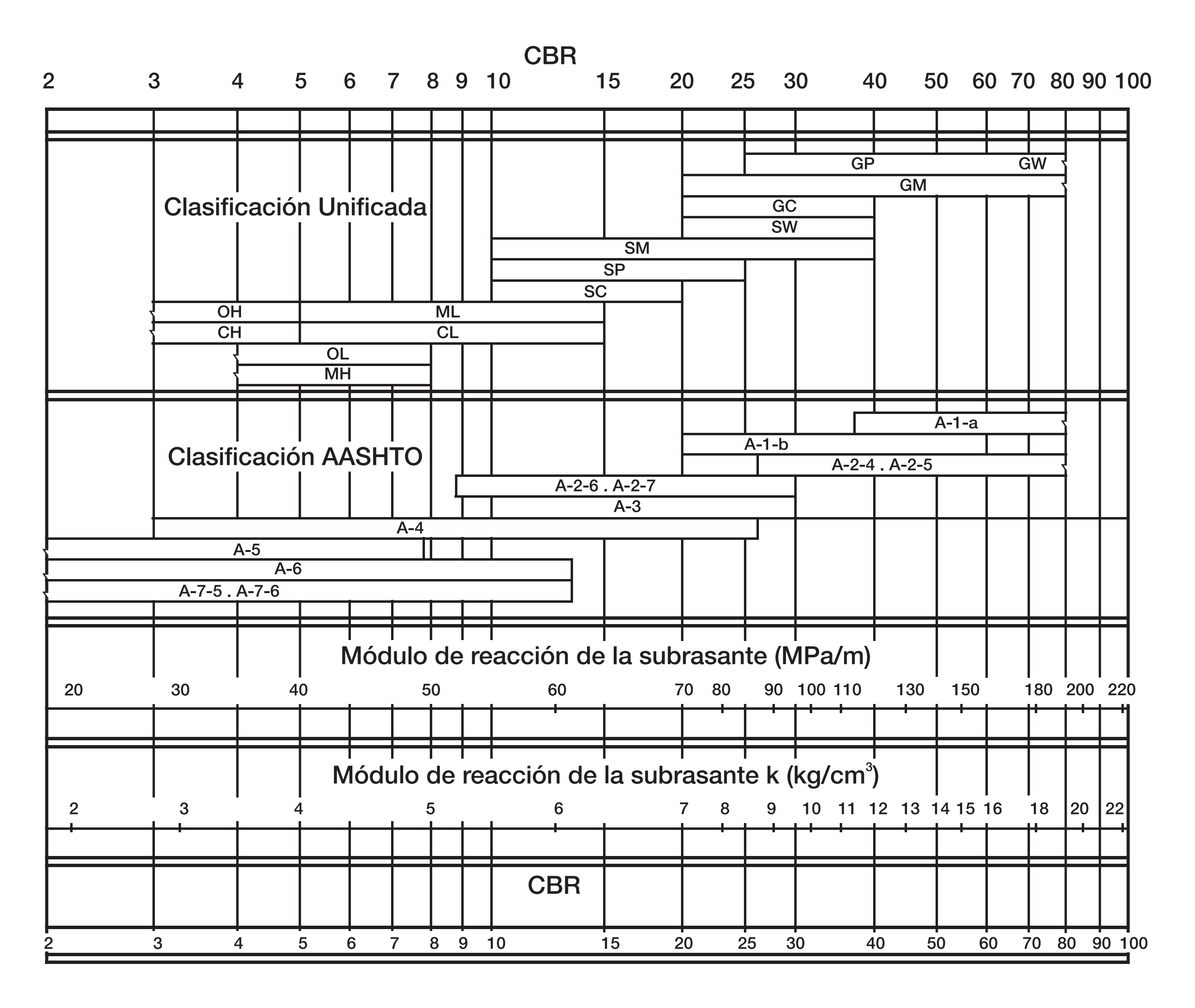


Tabla 2-12. Relación entre la clasificación del suelo y los valores de CBR y K

2.3.1.3 Correlación entre los valores de CBR y el Módulo de reacción de la subrasante -k-

Dada la dificultad de realizar el ensayo para determinar el módulo de reacción de la subrasante, y teniendo en cuenta que para el diseño de los pavimentos de concreto se admiten aproximaciones en la determinación de la capacidad de soporte del suelo, se puede recurrir a correlaciones entre el valor k con el del CBR y la clasificación de suelos, siguiendo las indicaciones de la Tabla 2-12 (Ref. 9.21).

2.4 Definición de tramos homogéneos

El estudio del suelo de la subrasante para el diseño de un pavimento de concreto consiste en seleccionar unidades homogéneas de diseño, con base en sus propiedades mecánicas, en la geología de la zona, en las características geotécnicas del lugar y en las condiciones de drenaje.

Además para asegurar que la estructura del mismo esté apoyada sobre una plataforma uniforme y constante se deben considerar durante el proceso del diseño del pavimento las variaciones horizontales y verticales en los distintos tipos del suelo, los contenidos de agua, las densidades y la profundidad del nivel freático (tabla del agua).

La tarea de definir los sectores homogéneos del suelo, para diseñar racionalmente los pavimentos, parte del reconocimiento macroscópico del mismo, de su identificación geológica, de la caracterización topográfica de la región, de las zonas de humedad, de la manera como drena el agua en cada zona, de los flujos de agua, de las fallas geológicas y de los tipos de suelos, entre otros.

Para alcanzar lo dicho es necesario establecer un programa detallado de exploración del subsuelo mediante calicatas y sondeos, para determinar la estratigrafía, las propiedades mecánicas y las condiciones del agua subterránea.

Con la información obtenida en la exploración de campo y los resultados de los ensayos de laboratorio, se elabora el perfil del terreno y con los valores de los ensayos de laboratorio, se determinan las zonas que presentan condiciones homogéneas.

El mapa de materiales parentales de los suelos en Colombia Figura 2.4 (Ref. 9.9), representa a grandes rasgos los suelos consolidados (roca) y no consolidados (depósitos superficiales), a partir de los cuales se derivan y evolucionan los diferentes tipos de suelos en el país; su importancia radica en el énfasis que se hace en el mapa de los depósitos superficiales, referidos a cenizas volcánicas y depósitos de origen fluvial, coluvial y diluvial, lo que permite enfocar los estudios para un proyecto en particular.

Para el diseño del espesor del pavimento de concreto, la capacidad de soporte de la subrasante se debe evaluar con unas condiciones de humedad, similares a la condición de mayor humedad probable que pueda tener el subsuelo después de que la vía se encuentre en operación.

En suelos tropicales de Colombia, su humedad influye bastante en el valor de capacidad de soporte, por lo que, bajo este aspecto, se pueden considerar tres categorías:

La primera, es aquella donde el nivel freático está lo suficientemente cerca de la superficie para controlar el contenido de humedad de la subrasante. El tipo de suelo gobierna la profundidad bajo la cual la superficie de la vía se ve influenciada por el contenido de humedad de la subrasante. Por ejemplo:

- En suelos no plásticos la tabla de agua puede influenciar el contenido de humedad cuando ésta sube entre 1 metro y la superficie de la vía.
- En arenas arcillosas (IP<20%) la tabla de agua puede influenciar su contenido de humedad cuando está entre 3 metros y la superficie de la vía y
- En suelos muy arcillosos (IP>40%) la tabla de agua puede influenciar su contenido de humedad cuando está entre 7 metros y la superficie de la vía.

La segunda categoría es aquella con profundos niveles freáticos y donde la precipitación es suficiente para producir cambios significativos en la humedad de los materiales bajo la vía. Estas condiciones ocurren cuando las precipitaciones exceden la evapo-transpiración, al menos dos meses al año y en áreas con niveles de precipitación superiores a 250 mm/año.

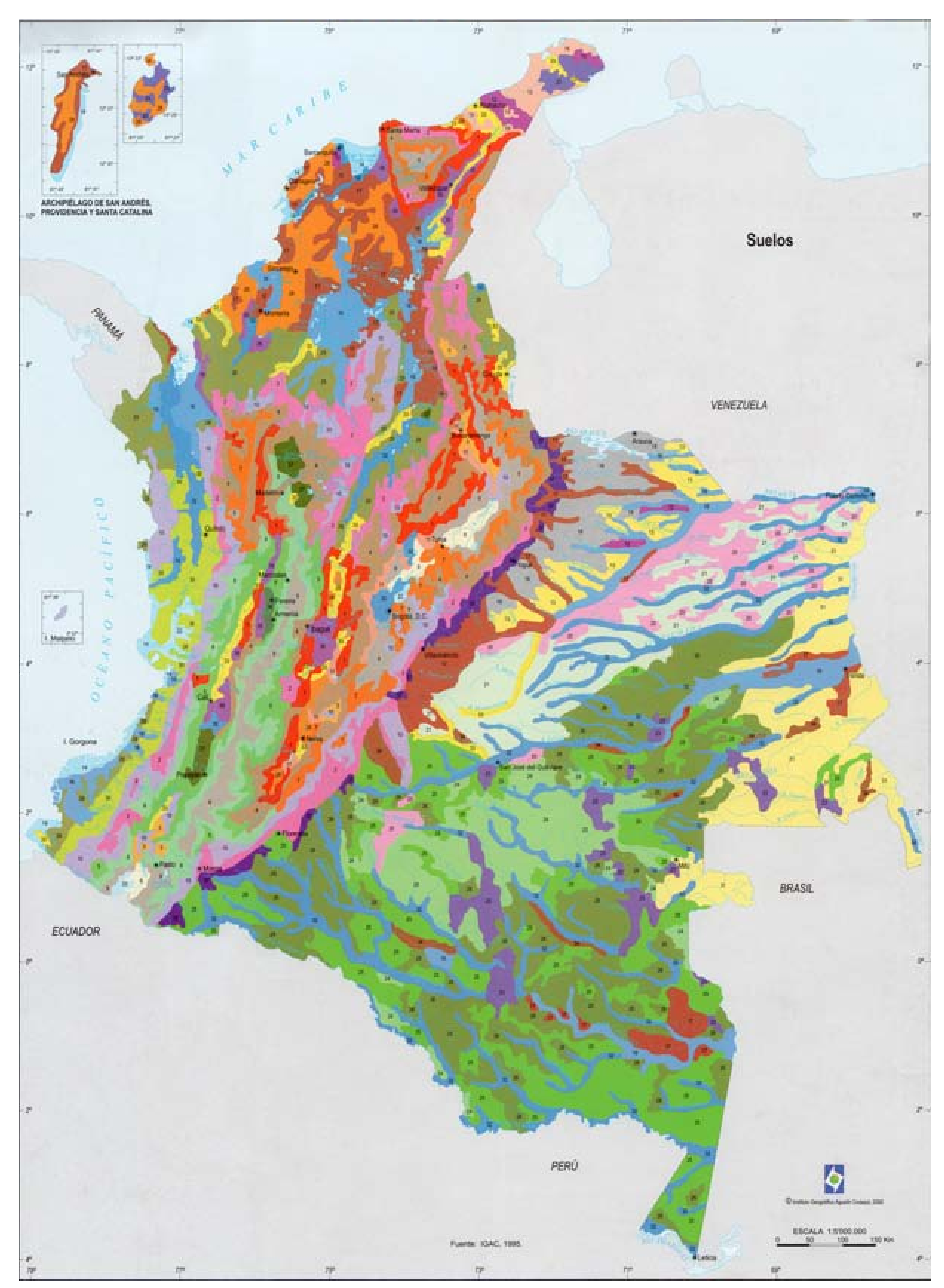


Figura 2.4. Mapa de los suelos Parentales de Colombia (Tomado del Atlas de Colombia - Instituto Geográfico Agustín Codazzi)

La tercera categoría ocurre en áreas donde el nivel freático no se acerca a la superficie y donde el clima es seco la mayor parte del año con precipitaciones menores que 250 mm/año. En fin, el contenido de humedad de la subrasante está gobernado por las condiciones climáticas locales y la profundidad del nivel freático bajo la superficie de la vía.

2.5 Categorías de subrasantes para la selección de espesores

Para el diseño del pavimento, en este manual se tendrán cinco clases de fundación en función de la capacidad de soporte, evaluada mediante la Relación de soporte de California –CBR (Norma INV E148-07) como se indica en Tabla 2-13.

Para subrasantes con CBR menores que 2, se requieren tratamientos especiales, como la sustitución de los materiales inadecuados o la modificación de sus características, con base en la adición de productos como la cal, el cemento u otros que la doten con mejores características mecánicas.

Cuando por alguna razón no se haga una exploración del subsuelo para determinar la composición física del suelo y su comportamiento mecánico ante esfuerzos, se puede hacer una clasificación aproximada con base en algunas características del suelo tal como se indica en la Tabla 2-14 (Ref. 9.24) asumiendo que la subrasante está compactada con un valor superior al 95% del Próctor modificado.

La Tabla 2-14 no es aplicable para turbas, materiales orgánicos o arcillas remoldeadas, en estos casos debe ser medido el CBR en laboratorio.

Investigaciones hechas en diversas partes del mundo plantean ecuaciones de tipo empírico, que permiten determinar los valores de la resistencia de la subrasante en función del CBR, con la observación de que las estimaciones hechas de ésta manera presentan un alto grado de dispersión, por lo que deben ajustarse con la experiencia local.

Los efectos de succión y el potencial de expansión en suelos tropicales como los colombianos, sólo se pueden caracterizar con estudios particulares.

Para los casos de diseño, y de acuerdo a lo contemplado en los estudios y análisis de Heukelom y Klomp (1962) (Ref. 9.24), se pueden correlacionar los tipos de suelos a partir de su capacidad de soporte, con su módulo de reacción, distinta a la Tabla 2-12 y que resulta a partir de la correlación:

$$MR=1500 \times (CBR)$$

Ecuación 2-9

En el que M_R es el módulo resilente en psi. El coeficiente de 1500 puede variar desde 750 hasta 3000; la fórmula provee mejores resultados en valores de CBR menores a 20; en otras palabras, la correlación es más adecuada para suelos fino granulares y arenas finas, que para suelos grueso granulares.

2.5.1 Bases para el pavimento

En este manual se tendrán en cuenta tres tipos de soporte para el pavimento, el natural o subrasante, las bases sean granulares (Articulo INV330-07), y las estabilizadas con cemento (Articulo INV341-07), ambas bases de 150 mm de espesor. El efecto de las bases en el espesor de la estructura se tendrá en cuenta elevando el valor de la capacidad de soporte por la presencia de la base y su tipo, siguiendo las recomendaciones de la PCA (Ref. 9.16) que se resumen en la Tabla 2-15 y en la Tabla 2-16.

Clase o Tipo	CBR (%)
S1	< 2
S2	2 - 5
S3	5 - 10
S4	10 - 20
S5	>20

Tabla 2-13. Clasificación de la subrasante de acuerdo a su resistencia

Profundidad del nivel freático desde nivel de fundación (m)	Clasificación del suelo de acuerdo a su resistencia				
	Arenas no plásticas	Arena arcillosa IP=10	Arcilla arenosa IP=20	Limo arcilloso IP=30	Arcillas duras IP>40
0.5	S4	S4	S2	S2	S1
1	S5	S4	S3	S2	S1
2	S5	S5	S4	S3	S2
3	S5	S5	S4	S3	S2

Tabla 2-14. Estimación de la resistencia de la subrasante a partir de la clasificación del suelo y la influencia del nivel freático

Valor de k para subrasante		Valor de k para la base							
		100 mm		150 mm		225 mm		300 mm	
MPa/m	Lb/pulg³	MPa/m	Lb/pulg³	MPa/m	Lb/pulg³	MPa/m	Lb/pulg³	MPa/m	Lb/pulg³
20	73	23	85	26	96	32	117	38	140
40	147	45	165	49	180	57	210	66	245
60	220	64	235	66	245	76	280	90	330
80	295	87	320	90	330	100	370	117	430

Tabla 2-15. Influencia del espesor de la base granular en el valor de k

Valor de k para subrasante		Valor de k para la base							
		100 mm		150 mm		225 mm		300 mm	
MPa/m	Lb/pulg³	MPa/m	Lb/pulg³	MPa/m	Lb/pulg³	MPa/m	Lb/pulg³	MPa/m	Lb/pulg³
20	73	603	220	80	300	105	400	134	500
40	147	100	370	130	500	185	680	230	850
60	220	140	520	190	700	245	900		

Tabla 2-16. Influencia del espesor de la base de suelo cemento en el valor de k

3. Características del concreto para pavimentos

En los métodos de diseño de pavimentos de concreto, se considera la resistencia a la flexión, medida a 28 días, evaluada mediante su módulo de rotura, siguiendo el método de ensayo de la Norma INV E–414-07, como uno de los parámetros que determinan el espesor, sin embargo el ensayo que controla ese esfuerzo, es de difícil realización y motivo de grandes discusiones por la poca confiabilidad y gran dispersión en los valores que arroja el propio ensayo.

Por lo dicho, es deseable que con antelación a la construcción se hagan curvas que correlacionen los valores de las resistencias a compresión, obtenidos con el método de ensayo de la Norma INV E–410-07 y a flexión realizadas con los materiales que se van a utilizar en la construcción del pavimento y con base en ellas realizar el control de la producción del concreto durante la ejecución de la obra.

También se pueden establecer correlaciones entre los ensayos de tracción indirecta y flexión y con ellos hacer correlaciones similares a las que se hacen entre las resistencias a flexión y compresión.

3.1 Módulo de rotura

En este manual se tendrán en cuenta para el diseño, cuatro niveles de resistencia a la flexión de acuerdo con el nivel de tránsito, según lo indica la Tabla 3-1 (Ref. 9.10).

Cuando se tengan curvas de correlación entre la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión se podrán usar para el control de la calidad del concreto los resultados de las pruebas de compresión.

3.2 Módulo de elasticidad

Es un parámetro que está involucrado en el comportamiento de los pavimentos de concreto, y por ende en el diseño mismo. Su determinación se hace a partir de ensayos de laboratorio, método de ensayo en la Norma INV E–416-07, también se pueden utilizar correlaciones como las mencionadas en la Tabla 3-2. Se considera que la incidencia de ésta variable en el resultado final del diseño de espesores, tiene poca influencia.

En la Tabla 3-2 el primer valor corresponde al Módulo de elasticidad en MPa y el segundo en kg/cm^2 cuando la resistencia a la compresión se introduce en la ecuación en MPa y en kg/cm^2 respectivamente.

3.3 Transferencia de cargas entre losas y confinamiento lateral

El comportamiento mecánico de los pavimentos de concreto, depende del mecanismo de transferencia de carga entre losas y esos mecanismos son objeto del diseño del pavimento (Ref. 9.16).

Dentro de los mecanismos de transferencia se encuentran las barras de acero lisas (dovelas), instaladas de acuerdo con las recomendaciones técnicas de construcción, Artículo INV 500-07 de las Normas de Construcción del INVIAS; existen también mecanismos de transferencia a través de los agregados. Para mejorar el comportamiento mecánico de las losas se pueden construir confinamientos laterales, que además ayudan a reducir la penetración de agua dentro de la estructura y así mismo la acción perjudicial de ella en el funcionamiento del pavimento.

Estos confinamientos pueden ser sardineles monolíticos, sobreanchos de la losa, bermas de concreto o de asfalto, o las mismas losas entre sí (Ref. 9.1).

3.3.1 Otras variables de influencia

Existen parámetros implícitos dentro de las metodologías de diseño, que se incorporan en los modelos para el cálculo de los espesores, a través de factores de seguridad. Dentro de dichos parámetros se pueden mencionar: los procesos constructivos, la uniformidad en los materiales de soporte, la calidad del drenaje y en los espesores de las diferentes capas, la homogeneidad de la mezcla de concreto.

Dentro del proceso constructivo y en la interpretación de las prácticas constructivas es necesario tener en cuanta el clima, el brillo solar, la humedad relativa y la velocidad del viento.

Para el desarrollo de la metodología de diseño, para el presente manual, no se tuvo en cuenta la utilización de la base de concreto hidráulico o concreto pobre (Articulo INV342-07), como material de soporte del concreto.

Calidad del Concreto	Número de camiones por día			
	> 300	150 –300	25 – 150	< 25
A flexión (MPa)	4.5	4.2	4.0	3.8

Tabla 3-1. Resistencia que debe alcanzar el concreto

Tipo de agragado y origen	Módulo de elasticidad Ec (Mpa - kg/cm^2)
Grueso – Ígneo	$Ec = 5{,}500\sqrt{fc'}$ - $17.500\sqrt{fc'}$
Grueso – Metamórfico	$Ec = 4.700\sqrt{fc'}$ - $15.000\sqrt{fc'}$
Grueso – Sedimentario	$Ec = 3.600\sqrt{fc'}$ - $11.500\sqrt{fc'}$
Sin información	$Ec = 3900\sqrt{fc'}$ - $12.500\sqrt{fc'}$

Tabla 3-2. Correlación entre la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad.

4. Materiales de construcción

4.1 Materiales de soporte

Cuando se habla de pavimentos se debe tener en cuenta que el término hace referencia a todas las capas que conforman la estructura y no sólo a la superior, o de rodadura, que en el caso de los pavimentos de concreto son las losas. Los pavimentos de concreto pueden estar constituidos por varias capas a saber: nivelación, base y losa.

Como ya se dijo, las losas de los pavimentos de concreto se pueden construir sobre el suelo directamente o sobre una base, que puede ser granular o estabilizada con cemento. La decisión de si el pavimento lleva base, se hace en función de la capacidad que tiene el suelo de resistir la acción conjunta de la humedad y el tránsito de vehículos pesados por día.

La subrasante tiene una gran influencia en las operaciones de construcción del pavimento y en el comportamiento del mismo a largo plazo. Las subrasantes inestables presentan problemas relativos a la colocación y compactación de los materiales de base y no dan soporte adecuado para las subsiguientes operaciones de pavimentación.

4.1.1 El suelo

Las losas de concreto se pueden construir directamente sobre el terreno natural o subrasante, siempre y cuando en éste no exista presencia de materia orgánica o de arcilla y además se cumpla con las siguientes condiciones: que el número promedio diario de vehículos pesados que han de circular por la vía, en un día, no sea superior a los 125, el índice de plasticidad del suelo no supera el 6% y el material que pasa por el tamiz 200 es inferior al 40%.

También se pueden construir las losas de concreto directamente sobre el terreno natural o subrasante cuando el pavimento será solicitado por menos de 25 vehículos comerciales por día, aun cuando no se cumplan los requisitos pedidos en el párrafo anterior.

Independientemente de la presencia, o no, de bases granulares, o estabilizadas con cemento, la subrasante debe estar libre de materia orgánica y el proceso de compactación de ella, se debe hacer de tal manera que se alcance el 95% del Próctor modificado.

4.1.1.1 Estabilización del suelo con cemento

Es una mezcla de cemento y de suelo, con determinadas proporciones de agua, que se compacta y cura para obtener mayor densidad. Cuando el cemento se hidrata, la mezcla se transforma en un material duro, durable y rígido (Ref. 9.19), que se puede usar como plataforma para la construcción del pavimento, dado que se controlan los cambios volumétricos, se aumenta la capacidad de soporte y la durabilidad, se reduce su permeabilidad y compresibilidad. La cantidad de cemento en peso varia entre 2 y 20%.

4.1.2 Base

Las principales funciones de esta capa son las de dar soporte uniforme y constante al apoyo de losas, controlar las variaciones volumétricas de la subrasante y aumentar la capacidad de soporte de la fundación. Básicamente hay dos clases de base, las granulares y las de suelo cemento.

4.1.2.1 Base granular

Es la base más usada en los pavimentos de concreto y deben cumplir con ciertas características que se estipulan en normas o especificaciones; para el caso concreto, en Colombia, el Instituto Nacional de Vías las regula mediante sus especificaciones técnicas, particularmente en el caso de la base granular Artículo INV 330-07.

4.1.2.2 Base de suelo cemento

El suelo, cemento es una mezcla íntima entre el suelo, cemento y el agua en unas proporciones definidas en función de la calidad del suelo con el que se desea trabajar y cuyo contenido de cemento depende de la clasificación del suelo. En la Tabla 4-1 se presenta la recomendación dada por la PCA para el ensayo de compactación del suelo cemento (Ref. 9.19).

El Instituto Nacional de Vías, regula la implementación de este material para carreteras mediante el Artículo INV 341-07 “Bases estabilizadas con cemento”.

Su aplicabilidad cubre todo el extenso abanico de alternativas de pavimentación, en distintos rangos de exigencia en espesor, resistencia y durabilidad. Como elemento modificador, sirve para adaptar materiales de la zona para uso en pavimentos con la inclusión de bajas adiciones de cemento, con el fin de bajar el índice de plasticidad y disminuir los potenciales cambios de volumen en los materiales finos y a su vez aumentar su capacidad de soporte.

4.2 Concreto

En esta publicación se trata del diseño de pavimentos de concreto simples, sin ningún tipo de refuerzo de acero para reforzar las losas, esta condición tiene dos implicaciones, la primera de carácter económico, la segunda de orden técnico.

La implicación económica es que al no utilizar refuerzo se obtienen pavimentos más económicos. La consecuencia técnica es que el concreto debe atender los esfuerzos de tracción que en los concretos reforzados atiende el acero de refuerzo. El concreto sin refuerzo para pavimentos debe atender por si mismo, los esfuerzos generados en la losa de concreto, esto obliga a refinar los procesos constructivos, a ser más exigentes, de manera especial, en lo que atañe al vibrado, al curado y al corte de las juntas.

En los pavimentos de concreto monolíticos, el material debe atender los esfuerzos de compresión, tracción por flexión y abrasión. En cuanto a la resistencia a la abrasión se ha encontrado que cuando el concreto ofrece una

Clasificación AASHTO del suelo	Contenido de cemento en peso %
A 1 – a	5
A 1 – b	6
A 2	7
A 3	9
A 4	10
A 5	10
A 6	12
A 7	13

Tabla 4-1. Contenido de cemento según la clasificación AASHTO para el ensayo de compactación

resistencia a la compresión del orden de 250 kg/cm^2, no se presenta abrasión en la superficie del concreto bajo el tránsito de los vehículos pesados.

Los ensayos con el que se mide la resistencia a la flexión, a la compresión y a la tracción indirecta son basadas en las Normas INV E-414-07, INV E-410-07 e INV E-411-07 respectivamente.

Dado que en algunos sectores del país es difícil realizar cualquiera de los ensayos para el control del concreto, es necesario solicitarle a un laboratorio de concreto que realice un diseño de mezclas, con los agregados y el cemento que se piensa utilizar en la obra, con antelación a la construcción del pavimento, y durante toda la construcción de la vía se debe mantener la dosificación dada por el laboratorio y ser riguroso con las prácticas recomendadas para manejar el concreto, tanto fresco como en los primeros días después de la construcción de las losas.

4.2.1 Materiales para el concreto

4.2.1.1 Agregados para el concreto

Los agregados son el esqueleto del concreto, ellos influyen en la calidad del pavimento por la distribución de los tamaños de los granos (granulometría, Norma INV E-213-07), por la dureza que ellos tengan y por las propiedades térmicas. Se puede trabajar con agregado cuyo tamaño máximo puede ser igual hasta la tercera parte del espesor de la losa y su manejo se debe hacer separando los agregados en tres grupos, el primero para los agregados con tamaño entre 0 y 4 mm, el segundo para tamaños entre 4 y 20 mm y el tercero para los tamaños comprendidos entre 20 y 60 mm.

4.2.1.1.1 Arena

La resistencia a la abrasión depende en primera instancia de la resistencia al desgaste de la arena y luego de la que tenga el agregado grueso. La arena debe ser limpia, tanto más, cuanto más intenso sea el tránsito, es decir más limpia para las vías de tránsito pesado, la limpieza se mide con el ensayo de equivalente arena (Norma INV E-133-07). y se recomienda que esté dentro de los rangos indicados en la Tabla 4-2 (Ref. 9.10).

Las arenas que mejor calidad de concreto arrojan son las producidas en la explotación de las playas o bancos de río, pues con ellas se obtienen concretos que se trabajan más fácil que los obtenidos con arenas producto de la trituración mecánica de rocas.

Cuando la arena se explota y se almacena formando pilas, se recomienda cubrirlas con plásticos, para evitar que el viento se lleve la fracción más fina, la cual es muy importante para darle manejabilidad al concreto.

4.2.1.1.2 Agregados gruesos

De la calidad de los agregados gruesos depende el momento, el equipo y el rendimiento para aserrar el concreto en las primeras horas. La calidad de los agregados gruesos influye también en la resistencia mecánica del concreto y en la resistencia al desgaste, cuando la arena no tiene un buen comportamiento frente a esta solicitación.

Es bueno que en la medida en que el tránsito sea más pesado se escojan agregados más resistentes al desgaste, esta propiedad se mide en el ensayo de desgaste en la Máquina de Los Ángeles (Norma INV E-218-07) y se recomienda que el desgaste esté dentro de los rangos indicados en la Tabla 4-3 (Ref. 9.10).

Número de camiones por día	Límite inferior del equivalente arena
750	80
150 - 750	75
25 - 150	75
0 < 25	65

Tabla 4-2. Límites del equivalente arena en función del tráfico

Fracción granulométrica (mm)	Número de camiones por día			
	>300	150 - 300	25 - 300	<25
4 a 20	< 20	< 25	< 30	< 40
> 20	< 25	< 30	< 35	< 45

Tabla 4-3. Desgaste recomendado en la Máquina de Los Ángeles en función del número de camiones por día

Se debe tener cuidado con el manejo de los agregados gruesos durante el transporte y su almacenamiento para evitar que se produzcan, o concentren, partículas finas.

4.2.1.2 Cemento

El cemento para la construcción de pavimentos, en principio, será el tipo 1, a menos que se entreguen diseños de mezclas de concreto con otros tipos de cemento, como puede ser el tipo 3, especialmente en lugares cercanos a las grandes ciudades o próximos a plantas de concreto premezclado.

4.2.1.3 Agua

El agua debe ser potable, libre de azúcares y otros contaminantes.

4.2.2 Características del concreto para pavimentos

Para establecer las características que debe tener el concreto, véase el numeral 3, el cual debe ser complementado con la Especificación para la construcción de carreteras del INVIAS, Articulo 500-07.

4.2.3 Acero de refuerzo

En este manual no se contempla el uso de acero para reforzar las losas, solo se tendrá acero en las dovelas y en las barras de anclaje, en los casos en que se requiera.

En los pavimentos de concreto monolíticos se utiliza el acero en dos presentaciones: corrugados y lisos. Los primeros, si el diseñador lo considera, se insertan en las juntas longitudinales; los segundos, son los que se disponen en las juntas transversales cuando se consideran necesarios. En todo caso, los aceros deberán cumplir con el Artículo INV 500-07 y lo que sea aplicable del Artículo 640-07.

5. Anexos

Métodos de diseño

En Colombia los métodos de diseño para los pavimentos de concreto más utilizados son los propuestos por la AASHTO en 1993 (Ref. 9.1) y la PCA en 1984 (Ref. 9.16). Ambos métodos tienen características distintas y los espesores calculados con ellos, para condiciones similares, pueden ser diferentes, pese a lo anterior, se siguieron las recomendaciones de los dos métodos para la elaboración de las cartas de diseño que se proponen en el catálogo de estructuras.

5.1 Catálogo de estructuras

Es el compilado del análisis estructural de los métodos de diseño mencionados teniendo en cuenta las variables de importancia que influyen directamente en los diseños. En la Tabla 5-1 se indican las variables y la nomenclatura usada para el diseño de los pavimentos y los valores adoptados.

Los análisis se realizaron con un número importante de variaciones, permitiendo obtener un espectro amplio de espesores, los cuales, unidos con la particularidad de cada proyecto permitió tabular los resultados así:

- **Tabla 5-2** Espesores de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables – T0
- **Tabla 5-3** Espesores de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables – T1
- **Tabla 5-4** Espesores de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables – T2
- **Tabla 5-5** Espesores de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables – T3
- **Tabla 5-6** Espesores de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables – T4
- **Tabla 5-7** Espesores de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables – T5
- **Tabla 5-8** Espesores de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables – T6

Variables y su representación				
Suelos	Tránsito	Transferencia y Confinamiento	Soporte	Concreto
S1 (CBR < 2)	T0 (EALS < 1E6)	D y B (Dovelas y Bermas)	SN (Subrasante)	MR1=38 Mpa
S2 (2<CBR<5)	T1 (1E6<EALS<1.5E6)	D y No B (Dovelas y no Bermas)	BG (15 cm BG)	MR2=40 Mpa
S3 (5<CBR<10)	T2 (1.5E6<EALS<5E6)	No D y B (no Dovelas y Bermas)	BEC (15 cm BEC)	MR3=42 Mpa
S4 (10<CBR<20)	T3 (5E6<EALS<9E6)	No D y No B (no Dovelas y no Bermas)		MR4=45 Mpa
S5 (CBR>20)	T4 (9<EALS<17E6)			
	T5 (17E6<EALS<25E6)			
	T6 (25E6<EALS<100E6)			

Tabla 5-1 Variables usadas en los análisis de diseño del pavimento.

Espesores de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables																					
Tránsito TO																					
		S1				S2				S3				S4				S5			
		D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B
SN	MR1			24	28	23	27	23	27	21	24	21	24	20	24	20	24	20	23	20	23
	MR2			23	27	22	26	22	26	20	24	20	24	20	23	20	23	19	22	19	22
	MR3			23	26	21	25	21	25	20	23	20	23	19	22	19	22	19	22	19	22
	MR4			21	24	20	24	20	24	19	22	19	22	18	21	18	21	18	21	18	21
BG	MR1			23	26	22	26	22	26	21	24	21	24	20	23	20	23	20	23	20	23
	MR2			22	25	21	25	21	25	20	23	20	23	19	22	19	22	19	22	19	22
	MR3			21	24	20	24	20	24	29	22	19	22	19	22	19	22	18	21	18	21
	MR4			20	23	19	23	19	23	28	21	18	21	18	21	18	21	17	20	18	20
BEC	MR1			20	23	19	22	19	22	18	21	18	21	18	20	18	20	17	20	17	20
	MR2			19	22	19	21	19	21	17	20	17	20	17	20	17	20	17	19	17	19
	MR3			18	21	18	21	18	21	17	19	17	19	16	19	17	19	16	19	17	19
	MR4			18	20	17	20	18	20	16	19	17	19	16	18	17	18	15	18	17	18

Tabla 5-2. Espesores de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables – T0

Espesores de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables																					
Tránsito T1																					
		S1				**S2**				**S3**				**S4**				**S5**			
		D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B
SN	MR1			24	28	23	27	23	27	21	25	21	25	21	24	21	24	20	23	20	23
	MR2			23	27	22	26	22	26	21	24	21	24	20	23	20	23	20	23	20	23
	MR3			22	26	22	25	22	25	20	23	20	23	19	22	19	22	19	22	19	22
	MR4			20	25	21	24	21	24	19	22	19	22	18	21	19	21	18	21	19	21
BG	MR1			23	26	22	26	22	26	21	24	21	24	20	24	20	24	20	23	20	23
	MR2			22	26	22	25	22	25	20	23	20	23	20	23	20	23	19	22	19	22
	MR3			21	25	21	24	21	24	19	23	19	23	19	22	19	22	19	22	19	22
	MR4			20	24	20	23	20	23	18	22	19	22	18	21	19	21	18	21	19	21
BEC	MR1			20	23	20	23	20	23	18	21	18	21	18	21	18	21	18	20	18	20
	MR2			19	22	19	22	19	22	18	20	18	20	17	20	18	20	17	20	18	19
	MR3			19	22	18	21	19	21	17	20	18	20	17	19	18	19	16	19	18	19
	MR4			19	21	17	20	19	20	16	19	18	19	16	18	18	19	15	18	18	18

Tabla 5-3. Espesores de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables – T1

Espesores de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables																					
Tránsito T2																					
		S1				**S2**				**S3**				**S4**				**S5**			
		D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B
SN	MR1	25	29	25	29	24	28	24	28	22	26	22	26	22	25	22	25	21	25	22	25
	MR2	24	28	25	28	24	27	24	27	22	25	22	25	21	24	22	24	21	24	22	24
	MR3	24	27	25	27	24	28	26	28	21	24	22	24	20	23	22	23	20	23	22	23
	MR4	22	26	25	26	23	27	26	27	20	23	22	24	19	22	22	23	19	22	22	23
BG	MR1	24	28	24	28	23	27	23	27	22	25	22	25	21	25	22	25	21	24	21	24
	MR2	23	27	23	27	23	26	23	26	21	24	22	24	21	24	22	24	20	23	21	23
	MR3	22	26	23	26	23	27	25	27	20	24	22	24	20	23	22	23	20	23	21	23
	MR4	21	25	23	25	22	26	25	26	19	23	22	23	19	22	22	23	19	22	21	23
BEC	MR1	21	24	21	24	21	24	21	24	19	22	21	22	19	22	20	22	19	21	20	22
	MR2	20	23	21	23	20	23	21	23	19	21	21	22	18	21	20	22	18	20	20	22
	MR3	19	23	21	23	20	23	23	24	18	21	21	22	18	20	20	22	17	20	20	22
	MR4	18	22	21	23	19	22	23	24	17	20	21	22	17	19	20	22	17	19	20	22

Tabla 5-4. Espesores de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables – T2

Espesores de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables

Tránsito T3

		S1				S2				S3				S4				S5			
		D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B
SN	MR1	29	34	31		28	32	30		26	30	27	30	25	29	26	29	24	28	26	28
	MR2	28	32	31		27	31	30		25	29	27	29	24	28	26	28	24	27	26	27
	MR3	27	31	31		26	30	30		24	28	27	28	23	27	26	28	23	26	26	27
	MR4	26	30	31		25	29	30		23	26	27	28	22	25	26	28	22	25	26	27
BG	MR1	27	32	29		27	31	28		25	29	26	29	24	28	26	27	24	28	25	28
	MR2	26	31	29		26	30	28		24	28	26	28	24	27	26	27	23	27	25	27
	MR3	26	30	29		25	29	28		23	27	26	28	23	26	26	27	22	26	25	27
	MR4	24	28	29		24	27	28		22	26	26	28	22	25	26	27	21	25	25	27
BEC	MR1	24	28	25	28	24	27	25	27	22	25	24	26	22	25	24	25	21	24	23	25
	MR2	23	27	25	27	23	26	25	26	21	24	24	26	21	24	24	25	21	23	23	25
	MR3	22	26	25	27	22	25	25	26	21	24	24	26	20	23	24	25	20	23	23	25
	MR4	21	24	25	27	21	24	25	26	20	22	24	26	20	22	24	25	19	22	23	25

Tabla 5-5. Espesores de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables – T3

Espesores de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables

Tránsito T4

		S1				S2				S3				S4				S5			
		D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B
SN	MR1	30				29				26	30	29		26	29	28	30	25	29	27	30
	MR2	29				28				25	29	29		25	28	28	30	24	28	27	30
	MR3	28				27				25	28	29		24	27	28	30	23	27	27	30
	MR4	26	30			25	29			23	27	29		23	26	28	30	22	26	27	30
BG	MR1	28				28				26	30	28	30	25	29	28	30	25	28	27	29
	MR2	27				27				25	29	28	30	24	28	28	30	24	27	27	29
	MR3	26				26	30			24	28	28	30	23	27	28	30	23	26	27	29
	MR4	25	29			24	28			23	26	28	30	22	26	28	30	22	25	27	29
BEC	MR1	25	28			24	28	27	29	23	26	26	28	22	25	25	27	22	25	25	27
	MR2	24	27			23	27	27	29	22	25	26	28	21	24	25	27	21	24	25	27
	MR3	23	26			22	26	27	29	21	24	26	28	21	24	25	27	21	23	25	27
	MR4	22	25			22	25	27	29	21	24	26	28	21	24	25	27	21	23	25	27

Tabla 5-6. Espesores de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables – T4

Espesores de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables																					
Tránsito T5																					
		S1				S2				S3				S4				S5			
		D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B
SN	MR1	30				29				27		30		26	30	29		25	29	29	
	MR2	29				28				26	30	30		25	29	29		24	28	29	
	MR3	28				27				25	29	30		24	28	29		24	27	29	
	MR4	27				26	30			24	27	30		23	26	29		23	26	29	
BG	MR1	29				28				26	30	29		25	29	29		25	29	28	
	MR2	28				27				25	29	29		25	28	29		24	28	28	
	MR3	27				26				24	28	29		24	27	29		23	27	28	
	MR4	25	29			25	29			24	27	29		23	26	29		23	26	28	
BEC	MR1	25	29	28		25	28	28	30	23	26	27	29	23	26	26	29	22	25	26	28
	MR2	24	28	28		24	27	28	30	22	25	27	29	22	25	26	29	21	24	26	28
	MR3	23	27	28		23	26	28	30	22	25	27	29	21	25	26	29	21	24	26	28
	MR4	23	25	28		23	25	28	30	22	25	27	29	21	25	26	29	21	24	26	28

Tabla 5-7. Espesores de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables – T5

Espesores de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables																					
Tránsito T6																					
		S1				S2				S3				S4				S5			
		D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B	D y B	D y no B	No D y B	No D y no B
SN	MR1	32								28				27				27	30		
	MR2	30				29				27				26	30			26	30		
	MR3	30				29				27	30			26	30			26	30		
	MR4	30				29				27	30			26	30			26	30		
BG	MR1	30				29				27				27				26	30		
	MR2	29				28				26	30			26	30			25	29		
	MR3	29				28				26	30			26	30			25	29		
	MR4	29				28				26	30			26	30			25	29		
BEC	MR1	26	30			26	29			24	29			24		29		24	28	29	
	MR2	25	29			25	29			24	29			24	28	29		24	28	29	
	MR3	25	29			25	29			24	29			24	28	29		24	28	29	
	MR4	25	29			25	29			24	29			24	28	29		24	28	29	

Tabla 5-8. Espesores de losa de concreto (cm) de acuerdo con la combinación de variables – T6

6. Anexos

Juntas

6.1 Diseño de juntas

En las losas que conforman un pavimento se dan esfuerzos como consecuencia del paso de los vehículos y de los movimientos de contracción y dilatación del concreto y a las diferencias en la temperatura, o en la humedad, entre la cara superficial y la de soporte de la losa, estos esfuerzos se controlan con el diseño de las juntas (Ref. 9.16 y Ref. 9.17).

6.1.1 Clasificación de las juntas

Las juntas en los pavimentos tienen diferentes funciones y según ellas se pueden clasificar en juntas de construcción, de contracción, de alabeo y de expansión o aislamiento. También se pueden clasificar según su alineación, en longitudinales y transversales.

6.1.1.1 Juntas de construcción

Lo más frecuente es construir los pavimentos de concreto por carriles, generando juntas longitudinales. Estas juntas se diseñan siguiendo las recomendaciones del numeral 6.2.2.

Además de las juntas longitudinales descritas, se presentan juntas de construcción transversales, cuando se suspenden las labores de colocación del concreto, bien sea por la finalización de la jornada laboral, por alguna interrupción en el suministro del material o por averías en alguno de los equipos empleados para su producción, transporte o colocación.

Pero esa interrupción debe ser tan larga como para que el concreto ya colocado haya alcanzado su fraguado final. El tiempo en que esto sucede depende de las propiedades del concreto, del empleo o no de aditivos retardantes y de las condiciones climáticas.

6.1.1.2 Juntas de retracción o contracción

Con este nombre se denominan las juntas que se hacen para liberar los esfuerzos que se desarrollan, en las primeras horas después de construido el pavimento, cuando el concreto sufre contracciones mientras se seca y enfría.

Estas juntas se hacen cortando el concreto, después de que pasan dos horas de haber terminado las labores de enrasado, nivelado y rayado, pero antes de pasadas 12 horas, si el corte se va a realizar con equipos de aserrado dotados de discos adiamantados.

El momento del corte depende de la conjugación de muchas variables, sobretodo del contenido de cemento, las temperaturas del concreto y ambiente durante la construcción del pavimento, la calidad de los agregados y la fricción de la losa con su soporte.

Las juntas también se pueden cortar mientras el concreto está fresco cuando se trata de obras con bajo nivel de tránsito, con velocidad de circulación restringida o en aquellas vías en las que la regularidad superficial no sea un parámetro de gran importancia.

El espaciamiento de estas fisuras, llamadas de retracción o contracción, oscila entre 15 y 40 m, según las características del concreto, la fricción de la losa con su apoyo y las condiciones climáticas durante la construcción del pavimento y apenas termina ésta.

6.1.1.3 Juntas de alabeo

El concreto se puede agrietar si se ve sometido a cambios diferenciales en la humedad y en la temperatura. En un día caluroso, la superficie del pavimento tiene mayor temperatura que su apoyo, obligando a las losas a levantarse en el centro y a apoyarse en los extremos, lo que produce esfuerzos que pueden generar fisuras; en la noche, el fenómeno se invierte y los esfuerzos de tracción se desarrollan en la cara inferior del pavimento.

Los gradientes de humedad también inducen esfuerzos en el pavimento, pero de menor magnitud y casi siempre opuestos a los generados por los gradientes térmicos; esto se debe a que una mayor temperatura, en condiciones normales, va acompañada, de un menor contenido de humedad. Las fisuras inducidas en el pavimento por los gradientes térmicos y por la retracción del concreto, son características propias del comportamiento del material, e inevitables, por lo cual el diseño de las juntas está orientado, a controlar la dirección y aparición descontrolada de dichas fisuras.

Pero se ha comprobado, por medio de la observación de antiguos pavimentos construidos con juntas muy separadas entre sí, que las fisuras por ello generadas, llamadas de alabeo, tienen una separación que oscila entre 4,5 y 6 m y se localizan intercaladas entre las de contracción.

6.1.1.4 Juntas de expansión o aislamiento

Reciben este nombre las juntas que se hacen dentro del pavimento para aislarlo de otras estructuras, de otros pavimentos, o cuando hay cambios bruscos de dirección.

Estas juntas, generalmente tienen la forma de rombo, de círculo, de triángulo o de semicírculo, cuando su función es la de aislar un elemento ajeno al pavimento, como pueden ser los sumideros, las cajas de inspección o cualquier otro elemento que esté dentro del pavimento. Sin embargo también pueden tener forma de línea recta, cuando se construye con el fin de aislar los pavimentos de concreto de otros tipos de pavimentos, cuando se presentan cambios bruscos de dirección, en las intersecciones viales o cuando es necesario aislar el pavimento de estructuras fijas, como es el caso de los puentes.

La particularidad de estas juntas es que son anchas, del orden de 10 a 15 mm. Estas juntas se deben diseñar teniendo en cuenta las observaciones del numeral 6.2.1.

6.1.1.5 Juntas longitudinales

Las juntas longitudinales pueden ser de alabeo o de construcción. El objetivo básico de estas juntas es el de controlar las fisuras que se pueden presentar en los pavimentos cuando se construyen con anchos superiores a los 4,5 metros. En nuestro medio, en el cual existe la tradición de construir los pavimentos por carriles, con un ancho cercano a los 3,6 m, las juntas longitudinales son normalmente de construcción.

Cuando el pavimento que se construye no tiene confinamiento lateral, es necesario dotar las juntas longitudinales con barras de anclaje, para impedir el desplazamiento de las losas de un carril, respecto a las del otro. Los aceros, como se dijo deben cumplir con el Artículo INV 500-07 y lo que sea aplicable del Artículo 640-07, se admiten aceros con resistencia de 187,5 MPa (40000 psi) y 280 MPa (60000 psi). La selección del diámetro, separación, longitud y resistencia de las barras de anclaje, se puede hacer según los criterios indicados en la Tabla 6-1.

6.1.1.6 Juntas transversales

Las juntas transversales agrupan a las de contracción, alabeo, expansión y construcción, pues, cuando el pavimento se da al servicio, es muy difícil determinar la función de cada una de ellas. El diseño de las juntas transversales se realiza, con el fin de controlar las fisuras del concreto por contracción y alabeo; por lo tanto, el espaciamiento entre ellas, debe ser menor que seis metros. Se ha demostrado que cuando la separación se aproxima a 4,5 m, permiten controlar prácticamente todas las fisuras y el comportamiento del pavimento a lo largo de su vida de servicio es mejor.

Espesor de losa (mm)	Barras de ϕ 9,5 mm (3/8")				Barras de ϕ 12,7 mm (1/2")				Barras de ϕ 15,9 mm (5/8")			
	Longitud (m)	Separación entre barras según el ancho del carril (m)			Longitud (m)	Separación entre barras según el ancho del carril (m)			Longitud (m)	Separación entre barras según el ancho del carril (m)		
		3,05 (m)	3,35 (m)	3,65 (m)		3,05 (m)	3,35 (m)	3,65 (m)		3,05 (m)	3,35 (m)	3,65 (m)
Acero de fy= 187,5 MPa (40.000 psi)												
150	0,45	0,80	0,75	0,65	0,60	1,20	1,20	1,20	0,70	1,20	1,20	1,20
175		0,70	0,60	0,55		1,20	1,10	1,00		1,20	1,20	1,20
200		0,60	0,55	0,50		1,05	1,00	0,90		1,20	1,20	1,20
225		0,55	0,50	0,45		0,85	0,85	0,80		1,20	1,20	1,20
250		0,45	0,45	0,40		0,85	0,80	0,70		1,20	1,20	1,10
Acero de fy= 280 MPa (60.000 psi)												
150	0,65	1,20	1,10	1,00	0,85	1,20	1,20	1,20	1,00	1,20	1,20	1,20
175		1,05	0,95	0,85		1,20	1,20	1,20		1,20	1,20	1,20
200		0,90	0,80	0,75		1,20	1,20	1,20		1,20	1,20	1,20
225		0,80	0,75	0,65		1,20	1,20	1,20		1,20	1,20	1,20
250		0,70	0,65	0,60		1,20	1,15	1,10		1,20	1,20	1,20

Tabla 6-1. Recomendación para las barras de anclaje

6.1.2 Sistemas para la transmisión de cargas

6.1.2.1 Trabazón de agregados

Cuando se produce la ruptura de la sección del pavimento debido a una reducción en el espesor de la losa (por corte a edad temprana), por una hendidura sobre el concreto fresco, o por una fisura espontánea (debido a un retraso en la ejecución de los cortes o a un incorrecto diseño de la disposición de las juntas), se presenta transmisión de cargas entre los tramos de losa o las losas vecinas, debido a la trabazón de agregados, siempre y cuando la fisura no tenga un ancho superior a un milímetro.

Este mecanismo de transmisión de cargas es adecuado en pavimentos que cumplan simultáneamente con los requisitos siguientes: La longitud de las losas sea menor que cinco metros y su soporte no sea susceptible de ser sometido al fenómeno de bombeo; además, el número de camiones que se espera que circulen por día, sea inferior 175 en cada carril y, por último, que las condiciones climáticas sean favorables.

Sin embargo, si alguna de estas condiciones no se cumple, es posible mejorar la transferencia de cargas colocando pasadores de carga, llamados pasajuntas (dovelas), construyendo una base propicia o combinando ambas alternativas.

6.1.2.2 Varillas de transferencia de carga (dovelas)

Cuando la trabazón de agregados no es suficiente para lograr la transmisión de carga, se pueden utilizar, para alcanzar dicho objetivo, varillas de transferencia de carga, conocidas como pasadores de carga, o dovelas, que son, barras de acero cortas y lisas con un límite de fluencia (fy) mínimo de 280 MPa (2800 kg/cm^2 o 60000 psi), de acuerdo con el Artículo INV 500-07 y el Artículo INV 640-07, metidas dentro del concreto fresco. Los pasadores se instalan en las juntas de tal manera que le permitan a las losas separarse y unirse entre sí, pero no desplazarse verticalmente, y su función es, entonces, absorber los esfuerzos de cortante, generados por las cargas del tránsito al cruzar las juntas y transmitir a la losa adyacente entre el 40 y 45% de la carga de diseño, cuando esta se coloca cerca de la junta.

Las dovelas, para poder cumplir con su objetivo, deben ser fáciles de instalar, lisas y al menos dos terceras partes de su longitud deben estar recubiertas con un material antiadherente, con el propósito de no restringir los desplazamientos horizontales de las losas. Además, deben ser resistentes a la fatiga y a la corrosión.

En cuanto a las dimensiones, espaciamiento y longitud de los pasadores, la práctica se ha reducido a la aplicación de los criterios indicados en la Tabla 6-2.

Los pasadores se deben colocar en la mitad del espesor de las losas, paralelos entre sí, al eje longitudinal de la vía y a la superficie del pavimento, con una tolerancia medida en el extremo del pasador que no sobrepase los 10 mm respecto a la posición teórica. La manera más eficiente de lograr ésto, es la de colocar los pasadores sobre unos soportes hechos con varillas, que quedan embebidos en el concreto.

El concreto alrededor de los pasadores debe tener la misma compactación que en el resto del pavimento, para evitar la creación de zonas en las cuales la resistencia a la tracción sea más baja y por ende se convierta en un área que se puede fisurar.

6.2 Diseño geométrico de juntas

6.2.1 Juntas de expansión o aislamiento

La distribución geométrica de las juntas se inicia con la definición de los lugares en los cuales se colocan las juntas de expansión o aislamiento, que por regla general se localizan en la losa anterior al punto en donde se presenta la particularidad, como se indica en la Figura 6.1. En el caso de intersecciones, se recomienda que la junta de expansión se construya sobre la vía de menor importancia (Ref. 9.11).

Las juntas de expansión alrededor de elementos incorporados dentro del pavimento, tales como sumideros, cámaras de inspección o cajas, deben estar como mínimo a 300 mm de los bordes de dichos elementos y su forma deber ser poligonal, circular, o semicircular, como se observa en la en la Figura 6.2.

Cuando se trate de juntas de expansión o aislamiento con una forma poligonal, hay que construir juntas longitudinales o transversales, contracción, en cada uno de los vértices del polígono. Si la junta de aislamiento tiene forma circular o semi-circular, de ella debe salir al menos una junta longitudinal o transversal de contracción. Las características de las juntas de expansión se presentan en el numeral 6.1.1.4.

Espesor del pavimento	Diámetro del pasador		Longitud	Separación entre centros
	mm	Pulgada	mm	mm
0 - 100	13	1/2	250	300
110 - 130	16	5/8	300	300
140 - 150	19	3/4	350	300
160 - 180	22	7/8	350	300
190 – 200	25	1	350	300
210 – 230	29	1 1/8	400	300
240 - 250	32	1 1/4	450	300
260 - 280	35	1 3/8	450	300
290 - 300	38	1 1/2	500	300

Tabla 6-2. Recomendaciones para la selección de los pasadores de carga

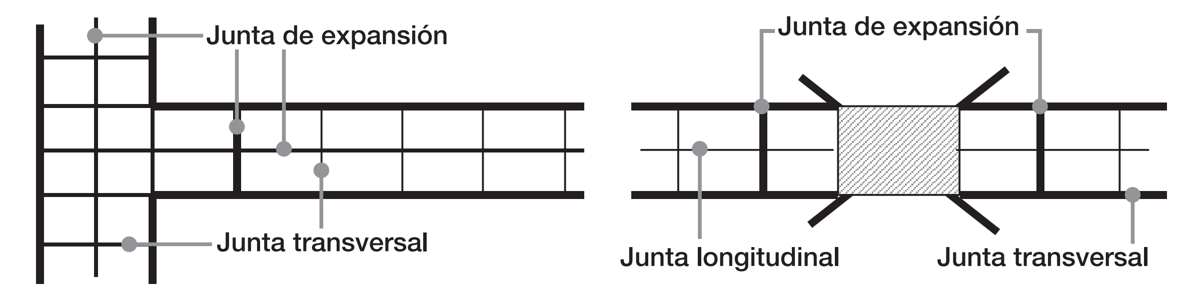


Figura 6.1. Juntas de expansión en las intersecciones y cerca de algún obstáculo

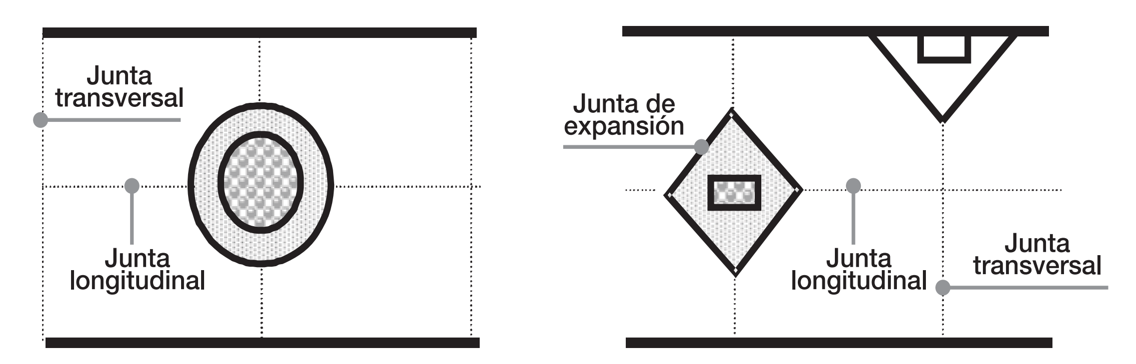


Figura 6.2. Juntas de expansión alrededor de elementos incorporados dentro del pavimento

6.2.2 Juntas longitudinales

Luego de localizar las juntas de aislamiento o expansión, se define la posición de las juntas longitudinales, teniendo en cuenta la dimensión de los equipos de construcción, el ancho de la vía a pavimentar y las restricciones constructivas, se deben evitar siempre que la separación entre dos juntas longitudinales (ancho de las losas), sea mayor que cuatro metros, atendiendo las recomendaciones de los dos numerales siguientes y los de la Figura 6.3 (Ref. 9.11).

6.2.2.1 En vías de doble sentido

Cuando se trata de vías transitadas en ambas direcciones y el ancho del pavimento es menor que 7,60 m, se debe construir una junta longitudinal para dividir el pavimento en dos franjas o carriles de igual ancho. En vías más amplias se deben construir tres juntas longitudinales, definiendo cuatro franjas, así:

- Para vías con un ancho entre 7,60 y 10,65 m: Se construye una junta longitudinal por el centro, y a cada lado de esta, otra que esté separada entre 1,8 y 3,05 m de la central.
- Para vías con un ancho entre 10,65 y 14,65 m: Se realiza una junta longitudinal por el centro y a cada lado de esta, otra separada entre 3,05 y 3,65 m de la central.

En la Figura 6.3 se observa un diagrama con las indicaciones dadas en este numeral.

6.2.2.2 En vías de un solo sentido

Cuando se trata de vías transitadas en una sola dirección, la disposición de juntas longitudinales se hace coincidir con los carriles de circulación de los vehículos. Normalmente la separación entre las juntas longitudinales en vías de varios carriles y un sólo sentido de circulación oscila entre 3 y 3,65 m.

6.2.3 Juntas transversales

El espaciamiento entre las juntas transversales debe estar comprendido entre 3,60 y 5,0 m y la relación entre el largo y ancho de las losas debe oscilar entre 1 y 1,3. Como recomendación general, las losas que sean lo más cuadradas posible, tendrán un mejor comportamiento estructural.

6.2.4 Consideraciones particulares

Con el fin de evitar la formación de losas con poca área, especialmente en los cambios de dirección, en las intersecciones o en las aproximaciones a estructuras existentes, se puede modificar la geometría de ciertas losas para incluir en ellas las otras de poca área como se muestra en la Figura 6.4.

6.2.4.1 Ejemplo de un diseño de juntas completo

En la Figura 6.5 se presenta un esquema en el que se indican las juntas que debe llevar un pavimento de concreto, un plano similar a ese se debe hacer con antelación al inicio de las obras, con el fin de evitar de que el equipo de construcción tome decisiones que puedan comprometer el buen funcionamiento de la obra.

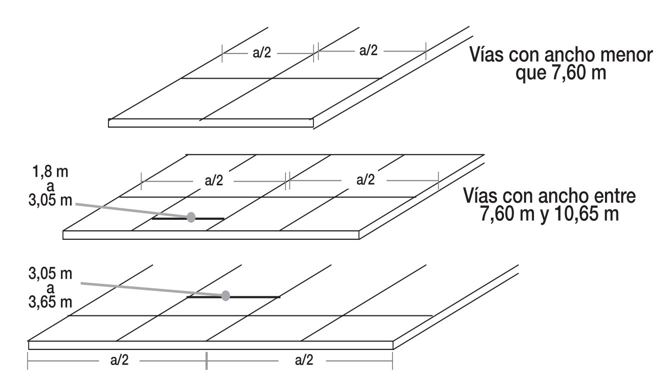


Figura 6.3. Localización de las juntas longitudinales de doble sentido y de ancho "A"

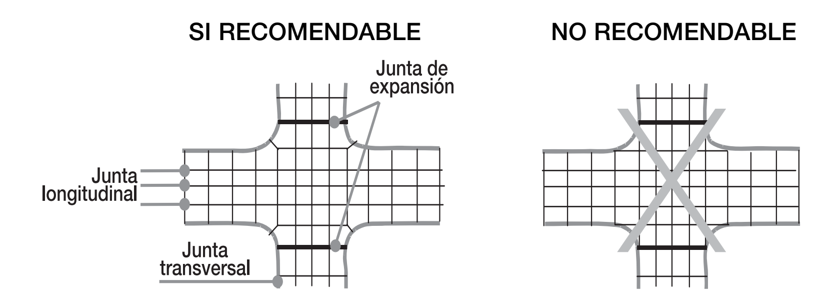


Figura 6.4. Localización de las juntas en un cruce de vías

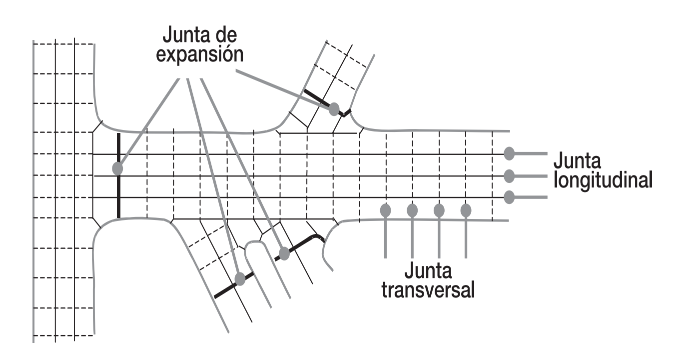


Figura 6.5. Ejemplo del diseño de las juntas

7 Anexos

Mantenimiento de pavimentos de concreto

El presente capítulo contiene el alcance de las obras y las labores de mantenimiento que deberán ejecutarse durante la etapa de operación de la vía y del pavimento.

Mientras la vía está en funcionamiento se deberán realizar los trabajos de limpieza, conservación, reparación y reconstrucción del pavimento, que sean necesarios para mantener, la condición de la vía, en buen estado.

La frecuencia de las intervenciones y las cantidades de obra a ejecutar podrán variar de acuerdo con las circunstancias climáticas y otras características, pero siempre deberán cumplir con las especificaciones y parámetros técnicos exigidos.

El mantenimiento vial incluye acciones rutinarias de limpieza de bermas y derecho de vía, de señalización vertical y horizontal, de mantenimiento de los sistemas de drenaje y en general de manejo del agua y en el caso de los pavimentos de concreto, son necesarias las actividades de sellado de juntas y de fisuras y en ciertas ocasiones se puede llegar a la realización de reparaciones superficiales y profundas.

En este manual se darán las recomendaciones específicas para el mantenimiento del pavimento de concreto como tal y no se entrará en los detalles asociados al mantenimiento general de las vías.

Se entiende por reparación de pavimentos rígidos, al conjunto de acciones que se llevan a cabo, para que un pavimento continúe prestando su servicio de manera adecuada, es decir, ofreciendo comodidad y seguridad al usuario.

En términos generales, los deterioros en los pavimentos de concreto se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Deterioro en las juntas, como son la deficiencia en su sellado, el descantillado de los bordes de la losa, la separación entre las losas en el sentido longitudinal
- Deterioro en las losas por agrietamientos en diferentes direcciones y magnitudes, pueden ser longitudinales, transversales o de esquina, formando triángulos con las juntas longitudinales y transversales
- Deterioros superficiales, como las grietas capilares superficiales, desintegración superficial, baches
- Movimientos localizados de las losas
- Escalonamiento de las losas en las juntas o en las fisuras
- Descenso o separación de las bermas
- Bombeo
- Textura inadecuada
- Fragmentación múltiple

Cada deterioro lo genera una o más razones y la reparación del respectivo daño se debe hacer teniendo en cuenta dos factores, con el primero se busca eliminar la causa que lo genera y con el segundo, devolverle al pavimento su funcionalidad y su capacidad de prestar un buen servicio.

La evaluación de los deterioros del pavimento y el análisis de sus causas están por fuera del alcance de este manual, sin embargo se darán algunas indicaciones para reparar los pavimentos de concreto, advirtiendo que antes de comenzar reparaciones en las que se involucren grandes áreas o recursos importantes, se recomienda que se haga un análisis completo de la patología del pavimento.

Cuando se decide reparar un pavimento se debe hacer una investigación de campo (máximo con 60 días de antelación), y una recopilación de la información que exista sobre la construcción del pavimento. La investigación debe detallar las condiciones en que se encuentra el pavimento, incluyendo el agrietamiento de las losas, descantillado de las juntas y el bombeo. Las áreas que cumplan con los criterios para la reparación se deben marcar con pintura, y se define qué clase de reparación se debe hacer en cada zona, reparación de juntas, reparaciones de espesor parcial o de todo el espesor, u otra.

Cuando se inician los trabajos de reparación es posible que la extensión real de los deterioros sea más grande que la indicada en los planos. Esto se debe a que los deterioros son progresivos. Por lo tanto, es muy posible que se requiera de una cantidad un poco mayor de reparación, que la estimada originalmente en los planos.

7.1 Reparación del material de las juntas o resellado

Esta actividad agrupa las acciones necesarias para reponer el material de sello en las juntas y para sellar las posibles fisuras que se hayan generado en el pavimento. El material para el sello debe cumplir con lo mencionado particularmente en el Artículo INV 500-07 o con las del productor, en caso de que no estén cubiertas por el INVIAS, siempre y cuando tengan el visto bueno del interventor.

Las juntas que se deben someter al proceso de resellado son aquellas, en las que no se dan movimientos verticales grandes entre las losas que forman la junta.

Antes de resellar las juntas se deben clasificar en función del ancho que ellas presenten según su ancho, como se indica a continuación:

- Juntas con ancho hasta de 12 mm
- Juntas con ancho entre 12 mm y 20 mm
- Juntas con ancho entre 20 mm y 30 mm
- Grietas con ancho entre 3 mm y 30 mm
- Juntas y grietas con ancho superior a 30 mm
- Juntas longitudinales de cualquier ancho

7.1.1 Características del material de sello

Después de agrupar las juntas y fisuras según el ancho y la dirección, se escoge el material de sello siguiendo las siguientes recomendaciones:

7.1.1.1 Para juntas con ancho hasta de 12 mm

Los productos recomendados son aquellos que con una deformación admisible entre el 20% y el 30%, cumplan con los requisitos establecidos en las normas correspondientes. Los imprimantes y cordones de respaldo serán los adecuados y compatibles con el sellador.

7.1.1.2 Para juntas con ancho entre 12 mm y 20 mm

Para sellar estas juntas, los productos recomendados son los del tipo termoplástico, aplicados en caliente, que tengan una deformación admisible entre el 10% y el 20% y que cumplan con las normas correspondientes.

7.1.1.3 Para juntas con ancho entre 20 mm y 30 mm y grietas entre 3 mm y 30 mm con ancho y grietas longitudinales

Los productos recomendados son del tipo masillas asfálticas, modificadas con polímero, que tengan las siguientes características:

- Penetración, 25°C, 100 g, 5 s, 101 mm : máx. 60
- Ductilidad, 0°C, mm : mín. 20
- Filler, porcentaje en peso : máx. 25
- Punto Ablandamiento, °C : mín. 58

7.1.1.4 Juntas y grietas con ancho superior a 30 mm

En estos casos se recomienda usar una mezcla de arena-emulsión asfáltica, con una dosis mínima de 18% de emulsión.

7.1.2 Procedimientos de trabajo

7.1.2.1 Limpieza

Las juntas y grietas que contengan restos de sellos antiguos o materiales extraños, se limpian con cuidado en toda su extensión y profundidad, con la ayuda de hojas de sierra, herramientas manuales u otros equipos adecuados, que permitan remover el sello, o relleno antiguo, sin afectar al concreto. No se recomiendan herramientas que puedan descantillar los bordes de la junta, ni solventes para remover el sello antiguo, salvo que se demuestre que el procedimiento no significará transportar los contaminantes hacia el interior de la junta, o impregnar el concreto con aceite u otros materiales.

La limpieza se termina soplando la junta con aire comprimido, libre de aceite, con una presión mínima de 120 psi, que elimine todo vestigio de material contaminante, incluso el polvo.

7.1.2.2 Imprimación

Cuando se especifican materiales para imprimir, se debe tener cuidado, que se produzca la adherencia pedida entre el producto usado para sellar y las paredes de las juntas o grietas.

7.1.2.3 Sellado de juntas con ancho hasta de 12 mm

En las juntas que no tengan la caja para alojar el material de sello, se les debe formar cortando el concreto de manera que se forme la caja, con un ancho de 8 mm a 12 mm y con una profundidad entre 22 y 35 mm, según el tipo de sellador y respaldo por emplear, el cual se debe ajustar a lo recomendado por el fabricante del material sellador y ser ligeramente más ancho que la junta de manera que ajuste bien.

Durante la colocación del sello, se busca que esté alineado a una profundidad constante y sin pliegues o curvaturas, cubriendo el ancho de la caja y que quede a una profundidad entre 4 y 5 mm por debajo de la superficie del pavimento.

Cuando el fabricante del sellador recomiende usar imprimante, éste se unta, en forma pareja, cubriendo las dos caras de la junta, utilizando las herramientas y procedimientos aprobados.

7.1.2.4 Sellado de juntas con ancho entre 12 mm y 20 mm

Para estas juntas se seguirá un procedimiento similar al descrito para las juntas de hasta 12 mm de ancho, salvo que el ancho de la caja será de hasta 20 mm, y su profundidad la necesaria para insertar el cordón de respaldo. Las juntas clasificadas en este grupo se sellan con productos termoplásticos que se meten en la junta a una profundidad de 14 mm o más y con un espacio libre entre las superficies del sello y de la losa, de mínimo 4 mm. El imprimante se deberá ajustar a las recomendaciones del fabricante del sellador.

7.1.2.5 Sellado de juntas con ancho entre 20 mm y 30 mm

Las juntas con ancho entre 20 mm y 30 mm se limpian según lo ya mencionado y se sellan con productos del tipo masilla asfáltica. La profundidad del sello será como mínimo de 15 mm, debiendo quedar entre 4 y 5 mm por debajo de la superficie del pavimento.

7.1.2.6 Sellado de grietas con ancho entre 3 mm y 30 mm

Se limpian de acuerdo con lo especificado en el numeral 7.1.2.1 y luego se biselan los bordes mediante equipo esmerilador u otro aprobado, para formar una cavidad con un ancho mínimo de 6 mm.

Estas grietas se sellaran con productos tipo masilla asfáltica. El espesor del material sellador será como mínimo de 15 mm, cualquiera que sea el ancho superficial de la grieta, y deberá quedar entre 4 y 5 mm por debajo de la superficie del pavimento.

7.1.2.7 Sellado de juntas y grietas con ancho superior a 30 mm

Después de hacer la limpieza de las juntas y grietas se procede a sellarlas con una mezcla de arena-emulsión asfáltica, siempre que el ancho promedio no exceda los 100 mm, en cuyo caso, el sellado se hace con una mezcla en caliente. En ambos casos el espesor del material sellador será como mínimo 20 mm. El relleno deberá quedar de 4 a 5 mm por debajo de la superficie del pavimento. Las paredes de las juntas y grietas se deberán imprimar con emulsión asfáltica diluida en agua por partes iguales. Se imprime por jornada la longitud que se alcance a sellar en un día de trabajo.

7.1.2.8 Sellado de las juntas longitudinales con cualquier ancho

Las juntas longitudinales se limpian según lo descrito en el numeral 7.1.2.1, y se sellan con productos tipo masilla asfáltica que se ajusten a los requisitos ya estipulados.

7.1.2.9 Preparación de las mezclas de sellado

Salvo que las instrucciones del fabricante de un determinado producto indiquen otra cosa, o cuando se utilice un imprimante con base en emulsiones asfálticas, las juntas y grietas deberán estar secas antes de comenzar el sellado, el cual se recomienda que se haga con una temperatura entre 5°C y 30°C.

La preparación del producto de sellado, se hace buscando que se obtenga un material homogéneo y con características estables. La manera de mezclar y homogenizar los productos de sellado son objeto de recomendaciones y especificaciones, que se deben consultar con los proveedores de los productos o con las autoridades pertinentes, antes de emprender las labores de reparación de las juntas.

7.2 Reparaciones en las que está involucrada la superficie de la losa

Cuando se trata de reparar las losas, se pueden dar dos casos, que el deterioro de la losa involucre sólo la parte superficial de ellas o todo su espesor, dependiendo de cual es la situación, se acometen las obras de reparación.

7.2.1 Reparaciones de espesor parcial

Normalmente, las reparaciones de profundidad parcial se hacen en el caso de descantillados en las juntas del pavimento o en el medio de la losa, que pueden ocurrir a lo largo de las juntas y grietas longitudinales, aunque suceden con más frecuencia en las discontinuidades transversales (Ref. 9.12).

Los descantillados generan una circulación áspera y pueden acelerar otros deterioros, casi siempre, es una falla localizada y por lo tanto, demanda procedimientos de reparación localizados, con los cuales se busca mejorar la circulación, impedir un deterioro posterior y proporcionar bordes adecuados para que las juntas y grietas puedan ser selladas en forma efectiva.

La mayoría de los descantillados se produce por la introducción de materiales incompresibles, que penetran dentro de las juntas y grietas transversales no selladas, cuando estas se abren al bajar la temperatura.

7.2.1.1 Bordes de la reparación

Para comenzar los trabajos, se hace una investigación para determinar los límites reales de las zonas que es necesario reparar, que consiste en recorrer toda la vía definiendo las áreas en las cuales el descantillado es inminente, golpeando la superficie del concreto con una varilla de acero, un martillo de carpintero, o arrastrando una cadena a lo largo de la superficie, detectando las zonas en que la frecuencia del sonido deja de ser metálico y seco volviéndose apagado o hueco, lo que indica la presencia de áreas debilitadas.

Con el objeto de asegurar la remoción de todo el concreto en mal estado, se delimitan las áreas con pintura, definiendo zonas cuadradas o rectangulares que estén más allá de los deterioros entre 80 y 100 mm. Cuando se presenten áreas que necesitan arreglo y estén a menos de 600 mm de distancia entre si, se recomienda que se integren en una sola, con el fin de reducir los costos de las reparaciones y proporcionar una apariencia más agradable.

7.2.1.2 Remoción del concreto

El concreto deteriorado se puede remover por aserrado y cincelado, o por un proceso de fresado, con una profundidad mínima de 40 mm. Antes de comenzar a remover el concreto se hace un corte con una sierra alrededor del área que se va a reparar, con una profundidad mínima de 40 mm, para generar una pared vertical. La remoción se hace con equipos neumáticos, cuyo peso sea inferior a 15 kilos, o con máquinas para fresar en frío.

Después de la remoción, se verifica que se haya retirado de manera efectiva, todo el concreto deteriorado utilizando la técnica de la resonancia ya explicada, pues en ocasiones, lo que parece ser un descantillado en la superficie, en realidad involucra todo el espesor de la losa y como regla general, si el daño afecta más de la tercera parte del espesor, se deben hacer reparaciones en toda la profundidad.

Después de remover el concreto se limpian las caras expuestas hasta eliminar las partículas sueltas, los restos de concreto, cualquier material contaminante y hasta el mismo polvo.

7.2.1.3 Preparación de las juntas

Las reparaciones de profundidad parcial adyacentes a las juntas transversales o longitudinales y a las bermas, requieren preparativos de construcción especiales.

7.2.1.3.1 Juntas longitudinales

Cuando se efectúa una reparación de profundidad parcial contra una junta longitudinal, el concreto de la reparación no se debe adherir al del carril adyacente, para evitar que el parche se descantille a causa del alabeo, o del movimiento diferencial de las losas.

Se elimina la adherencia del concreto de las reparaciones con las juntas, insertando, a lo largo de la junta, un elemento compresible, una tira delgada de polietileno o un fieltro impregnado con asfalto antes de colocar el material del parche.

7.2.1.3.2 Juntas transversales y grietas

En los parches adyacentes a las juntas, o a las grietas activas que penetran en toda la profundidad de la losa, se pone un inserto compresible, u otro medio para romper la adherencia; los materiales más usados son la espuma de estireno, la madera aglomerada impregnada con asfalto o tiras de polietileno.

En algunas ocasiones se puede necesitar un inhibidor flexible, que se acomode a la geometría de las grietas. La nueva junta o grieta se debe hacer con el mismo ancho de la junta o grieta existente.

Además de aislar el concreto del parche, los inhibidores de adherencia forman una pared uniforme contra la cual la junta se puede sellar con facilidad.

7.2.1.3.3 Junta con la berma

Hay que evitar que el material de reparación penetre en la berma, lo cual puede restringir los movimientos longitudinales, ocasionando daños a la reparación o a la berma. Se debe tener cuidado en que la superficie del parche quede ligeramente más alta que la de la berma.

7.2.1.4 Materiales para la reparación

7.2.1.4.1 Mezcla de concreto de alta resistencia inicial

Cuando es necesario que las reparaciones se den al servicio pronto, a las cuatro o cinco horas, se piden concretos que alcancen resistencias de más de 21 MPa, en menos de 24 horas, estos concretos requieren un adherente epóxico, que se usa siguiendo las recomendaciones del fabricante.

7.2.1.4.2 Mezcla de concreto de fraguado normal

El concreto de fraguado normal se usa cuando la reparación se puede proteger del tráfico por 24 o más horas, en este caso se emplea como adherente entre el concreto viejo y el material del parche, un mortero preparado por volumen, con una parte de arena y otra de cemento Pórtland y con la suficiente agua para que tenga una consistencia cremosa.

El concreto de la reparación se vierte en el parche antes de que se seque el mortero y si este se llega a secar hay que retirarlo.

Los parches que usen concreto de fraguado normal, no se usan, si la temperatura ambiente es inferior a 5°C y con temperaturas inferiores a los 13°C, se necesita un período de curado más prolongado.

7.2.1.4.3 Materiales de resistencia rápida patentados

Cuando se seleccionan materiales patentados de fraguado rápido para hacer el parche, es importante que estos se usen de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, o lo que indiquen las normas sobre estos materiales, en especial lo que se refiere a la adherencia, la colocación, el curado, las temperaturas de colocación y el tiempo requerido antes de dar al servicio las reparaciones. Un ejemplo de estos materiales son los morteros de resina epóxica y los concretos epóxicos.

7.2.1.5 Colocación del material para la reparación

7.2.1.5.1 Colocación del adherente

Cuando se necesite un agente adhesivo (primera capa o lechada de cemento), el material se aplica en una capa delgada y pareja, con la ayuda de una brocha de cerdas duras, que cubra toda el área, incluyendo las paredes del parche y se superpone a la superficie del pavimento, para asegurar una adherencia adecuada.

7.2.1.5.2 Mezclado

En la mayoría de las reparaciones de profundidad parcial, el volumen es muy pequeño, por lo cual, y buscando reducir el desperdicio de materiales, las mezclas se hacen en el sitio con la ayuda de pequeñas mezcladoras de tambor o de paletas.

7.2.1.5.3 Densificación del material

Como cualquier concreto, la mezcla para el parche se somete a consolidación para eliminar los vacíos entre el contacto del parche y el concreto existente, esto mejora la adherencia entre ambas superficies y aumenta la resistencia al corte. Para consolidar el concreto, se usan vibradores pequeños de inmersión con diámetro inferior a los 25 mm, moviéndolo con lentitud por el área del parche, para asegurar una consolidación completa, teniendo cuidado de no usar el vibrador para mover el concreto. Cuando las reparaciones son muy pequeñas se puede hacer la consolidación con las herramientas de mano.

7.2.1.5.4 Acabado

La superficie del material de la reparación se trata cuidando de no alterar la sección transversal del pavimento existente. Se recomienda que el proceso de acabado comience desde el centro del parche hacia fuera, con el fin de obtener interfaces más parejas con el concreto existente y desarrollar una buena resistencia de adhesión. La mayoría de los que efectúan el acabado emparejan el material del parche desde los bordes hacia el centro, con lo cual, el material se despega del concreto de la losa, en donde la adherencia es esencial. Moviendo la regla hacia los bordes del parche, el material se empuja hacia la interfase, incrementando la adherencia.

7.2.1.5.5 Texturizado

Después del acabado, a la superficie del parche se le da un texturizado similar al que tiene el pavimento existente, con el fin de obtener una apariencia más uniforme.

7.2.1.5.6 Llenado de los cortes con sierra

Cuando se usan las sierras para delimitar las reparaciones se hacen cortes que van más allá del área objeto de la reparación, los cuales se pueden rellenar con el mortero sobrante y así evitar a largo plazo la penetración de agua, que puede afectar la adherencia del material de la reparación con el concreto viejo.

7.2.1.5.7 Sellado

Un procedimiento a menudo ignorado en la colocación de reparaciones de profundidad parcial es el sellado de la interfase del parche con la losa. Este procedimiento se emplea en donde se usa material de reparación con base en cemento y consiste en pintar con una lechada de cemento con agua de 1:1 a lo largo del perímetro del parche.

La lechada formará una barrera contra la humedad sobre la interfase y contribuirá a impedir el deterioro del parche.

7.2.1.5.7.1 Sellado de las juntas

Después de que el parche ha adquirido la suficiente resistencia, se sellan las juntas, de acuerdo con las recomendaciones tradicionales para este fin.

Son esenciales el aserrado para proporcionar el factor forma adecuado de la junta y el chorro de arena para remover la suciedad y los restos del aserrado de las paredes de la junta. Es importante que las paredes de la junta estén limpias y secas para lograr un buen comportamiento del material de sello.

7.2.1.5.7.2 Curado

Las reparaciones de espesor parcial tienen la tendencia a secarse muy rápido y a agrietarse a edad temprana, por lo cual es obligatorio, hacer con más cuidado las acciones de curado.

En donde se requiera de una apertura temprana al tráfico, puede resultar beneficiosa la colocación de esteras de aislamiento sobre las reparaciones. Esto mantendrá el calor proveniente de la hidratación y promoverá una mayor ganancia de resistencia para los materiales con base en cemento.

7.2.2 Reparación de espesor total (Ref. 9.13)

7.2.2.1 Demarcación y aislamiento de las áreas a remover

Antes de comenzar cualquier trabajo se deben definir las áreas que requieren reparación y se marcan con pintura, el área mínima a reparar tiene un ancho igual al de un carril en la dirección transversal y 1,80 m en la dirección longitudinal.

7.2.2.2 Aislamiento del área a remover

Antes de retirar el concreto del área deteriorada, esta se debe aislar del concreto adyacente, del carril y de la berma, con el fin de hacer mínimo, el daño al material circundante durante las operaciones de remoción.

7.2.2.2.1 Aislamiento del carril y de la berma adyacente

Con la ayuda de una sierra con puntas de carburo, o un equipo equivalente, se hace un corte sobre la berma a lo largo del área deteriorada, hasta alcanzar 100 mm ancho, para generar un espacio en el cual se pone una formaleta para la cara del arreglo con la berma.

Si la berma es de concreto, la junta longitudinal entre el carril exterior y la berma se debe aserrar en todo el espesor, incluyendo las barras de amarre si éstas existen. En este caso la cara de la berma se usa como formaleta para la colocación del concreto de la reparación. La junta longitudinal en el centro del pavimento se corta en todo el espesor de la losa, incluyendo las barras de amarre, a lo largo de la junta existente.

7.2.2.2.2 Aislamiento transversal

La cantidad y profundidad de los cortes con sierra requeridos en cada límite transversal del área a reparar, variará según el método de remoción seleccionado y del tipo de pared deseada para la junta. En la actualidad existen dos maneras diferentes de efectuar la remoción y también dos tipos de juntas disponibles.

En general, el aislamiento transversal del área de la reparación del pavimento existente, se logra mediante el aserrado de profundidad total, dejando bordes verticales limpios. Se recomienda que el corte de la sierra no se aproxime a menos de 150 mm de los límites del área propuesta, debido al daño y a las microgrietas que este tipo de sierra puede producir en el concreto adyacente. Para evitar un daño apreciable a la base, la cuchilla no debe penetrar en ella más de 10 mm.

7.2.2.2.3 Remoción de la losa por izado

El mejor sistema de remoción del concreto es por izado, para ello se requiere que, después de que el área de remoción sea aislada, se efectuen perforaciones que traspasen la losa desde la parte superior y se pongan ganchos que permitan izar los pedazos de losa, con la ayuda de cadenas que se sujetan a un equipo pesado, como una grúa o un cargador frontal.

En algunos casos, el material que está siendo izado se puede romper, produciendo daños o descantillados en la parte superior de las losas adyacentes, que implican a su vez una reparación que generalmente es de espesor parcial. La remoción del concreto por izado minimizará el daño al concreto circundante y a la base. Las paredes de las juntas transversales serán lisas y no requerirán de mayor trabajo antes de las perforaciones con taladro para la instalación de los dispositivos de transferencia de carga (dovelas). En general, izando el concreto necesita menos mano de obra, pero equipos más especializados.

7.2.2.2.4 Caso especial – pared áspera

Algunas autoridades solicitan que la transferencia de cargas en las juntas entre las zonas reparadas y el concreto existente, se haga por la trabazón de agregados y por las dovelas. En este caso las paredes de las juntas tienen que ser rugosas y la manera más económica de hacer esto es con la ayuda de un segundo corte con la sierra, en cada junta transversal del área a reparar.

Para lo anterior se usa un equipo de corte que tiene dos hojas separadas entre 40 y 50 mm, que se pasa generando dos cortes con una profundidad de un cuarto del espesor nominal de la losa, y luego se usa una sierra de hoja sencilla para terminar el corte en toda su profundidad, a lo largo del corte hecho con la cuchilla interior. Este procedimiento se usa en cada borde transversal.

Después de que se hacen los cortes de todo el espesor, se perforan los huecos en donde se fijan los ganchos que permiten izar la losa deteriorada. Luego y con la ayuda de un martillo neumático liviano (se recomienda de 7 kg y como máximo de 15 kg), se golpea el concreto de la junta hasta astillar el concreto y dejar rugosa la pared que se hizo por el corte de la cuchilla externa, teniendo cuidado de que el astillado no socave el concreto dejado por la cuchilla exterior, para que no se pierda la trasferencia de cargas a través del agregado.

7.2.2.3 Remoción de la losa demoliéndola

La experiencia ha demostrado que este método puede dañar significativamente la base y, en consecuencia, se necesita una reparación más grande de la base que la que se hace cuando se izan las losas. Sin embargo, se reconoce que en muchos casos, el concreto puede estar tan deteriorado que el izado no es práctico. Para estos casos se puede demoler el concreto, del área que se va a remover, con la ayuda de un martillo neumático (jack hammer), un martillo de caída libre (drop hammer), o un ariete hidráulico (hidraulic ram), retirando luego el material con la ayuda de una retroexcavadora o con herramientas manuales.

Cada equipo para demoler el concreto exige cuidados particulares; en especial lo que se refiere a impedir que la energía impartida durante la demolición no deteriore el concreto que se encuentra en buen estado, como recomendación general se hacen cortes secundarios, de toda la profundidad de la losa, paralelos a los que determinan el área a demoler, a una distancia de 300 mm, y que la energía de demolición se vaya disminuyendo en la medida en que se esté llegando a las zonas sanas.

7.2.2.4 Preparación del área de reparación

Si se determina que durante la remoción del concreto se ha deteriorado mucho la base, o se observa presencia de material con características inadecuadas, ésta se debe limpiar y recompactar, retirando cualquier material suelto, hasta que se cumpla con los requisitos de las especificaciones. Cualquier problema de drenaje localizado también se debe reparar. Es importante no desequilibrar el área de la base, excepto cuando sea absolutamente inevitable

7.2.2.4.1 Transferencia de carga

Cuando se trate de reparaciones en vías con alto volumen de tráfico, es esencial que las juntas transversales del área reparada se refuercen con barras de transferencia de cargas. Esto ayuda a asegurar un comportamiento adecuado en términos de transferencia de carga.

7.2.2.4.2 Pavimentos para tráfico pesado

Las dovelas con un diámetro entre 31 mm y 38 mm y con un largo de 450 mm, han sido los medios más efectivos para desarrollar transferencia de carga a través de las juntas en las áreas reparadas.

El diseño e instalación de las dovelas es un aspecto muy crítico para el éxito de una reparación de profundidad total. Para anclar las dovelas se hacen perforaciones con taladros en la pared aserrada de la losa existente.

Se recomiendan taladros agrupados gang drills (varios taladros montados en forma paralela en un soporte rígido), con el objeto de aumentar la productividad, ya que varias perforaciones se pueden hacer al mismo tiempo y para evitar las desviaciones y desalineaciones durante el proceso de perforación.

Puede que sea necesario usar taladros manuales, para hacer algunos ajustes menores, en donde se necesiten ajustes pequeños. Sin embargo, por lo general, los taladros de mano se deben evitar debido a la posibilidad de que se presenten desalineaciones de las perforaciones.

Mantener la alineación adecuada, en el plano horizontal y vertical, es muy importante para permitir los movimientos libres de expansión y contracción de las áreas reparadas. Se recomienda que se usen por lo menos cuatro o cinco dovelas en las zonas en las que han de pasar las llantas de los vehículos.

Los agujeros se debe limpiar con aire comprimido para remover el polvo y los desechos. Después de que se limpian los agujeros y previamente a la inserción de las dovelas, se debe aplicar pintura epóxica, o un mortero que no se contraiga alrededor del agujero. Es importante que el material se introduzca hasta el fondo del agujero, de manera que se fuerce hacia adelante durante la inserción de las dovelas, con lo cual se asegura que el material de anclaje cubra la dovela a todo lo largo. Para asegurar que el material epóxico o el mortero rodeen completamente la dovela, esta se inserta dándole giros.

Un disco de retención de mortero, fabricado con plástico, se recomienda para mantener el material dentro del agujero durante la inserción de la dovela. El disco es efectivo para asegurar que la barra de refuerzo esté completamente rodeada por el mortero o el material epóxico de anclaje, debido a que el material no puede salir por la parte frontal del agujero. Cuando se usa el disco este ayuda a encajar la dovela y evita el desarrollo de deformaciones del agujero.

Cuando la reparación involucra la restauración de juntas, hay que asegurar el alineamiento adecuado de las dovelas en la pared de la junta, para permitir los movimientos de la losa.

Después de insertar las dovelas, con el mortero o con el material epóxico en su lugar, se puede proceder a vaciar el concreto.

7.2.2.4.3 Pavimentos de poco tráfico

En pavimentos para bajos volúmenes de tráfico y con pocos de camiones pesados, se puede prescindir de las dovelas en las reparaciones de profundidad total, sin que se comprometa el comportamiento de la reparación.

7.2.2.4.4 Vaciado del concreto

En la mayoría de los casos, cuando la apertura al tráfico del pavimento es un aspecto crítico, es necesario usar concreto de alta resistencia temprana y se hacen los vaciados apenas las dovelas estén instaladas y la subbase preparada.

Las mezclas de concreto de alta resistencia inicial se hacen con un cemento tipo III o con cloruro de calcio, como acelerante y tienen baja relación agua/cemento, normalmente se busca que alcancen una resistencia a compresión de 21 MPa en 24 horas (Módulo de rotura de 3,8 MPa). También existen diversos materiales de fórmula patentada que proporcionan una ganancia de resistencia temprana y pueden permitir una pronta apertura al tráfico.

La apertura al tráfico se debe definir con base en la resistencia que tenga el concreto. En algunas partes se permite una apertura rápida, entre 4 y 8 horas después de vaciado el concreto.

Para obtener parches de buena calidad es crítica una colocación y acabado adecuado del concreto, incluyendo la vibración para la consolidación. Las superficies de las reparaciones se deben terminar con un codal de 3 m, o con una regla vibratoria, para dar los mismos niveles de la superficie existente. La experiencia ha demostrado, que las mejores reparaciones generalmente han sido aquellas en los que el acabado se hace usando una regla vibratoria, paralela a la línea central del pavimento.

También su texturizado debe ser igual a la del pavimento circundante, con el objeto de asegurar que los vehículos circulen sobre éstos, de igual manera que sobre el pavimento existente.

Cuando se ha terminado el vaciado y el texturizado del concreto se debe proceder a aplicar un compuesto de curado pigmentado. El compuesto de curado debe cubrir todo el concreto nuevo para evitar la pérdida de humedad. Por lo general basta aplicar los mismos volúmenes de producto de curado que en una obra convencional.

Cuando hay que abrir rápidamente al tráfico, el pavimento reparado, se pueden poner cubiertas de aislamiento encima de ellos durante el curado, las cuales aumentan en forma importante la temperatura del concreto, acelerando la ganancia de resistencia. Esto ayudará a acortar el período previo a la apertura al tráfico. El uso de cubiertas de aislamiento dependerá del material y del clima.

7.2.2.4.5 Sellado de juntas

El último paso en una buena reparación de pavimentos de concreto en todo su espesor, consiste en hacer la caja para alojar el material de sello, tanto en las juntas longitudinales como transversales. Las evaluaciones han demostrado que las cajas de las juntas adecuadamente formadas, o aserradas, disminuyen la cantidad de descantillados en las juntas de las reparaciones.

Se recomienda que la profundidad de la caja tenga 50 mm como mínimo. Sin embargo, el ancho y la profundidad de la caja (factor de forma), se debe hacer teniendo en cuenta la separación de las juntas y el tipo de sello. Se recomienda que se sigan las recomendaciones del fabricante. También se debe sellar la junta longitudinal, para reducir la posibilidad de introducción de materiales incompresibles y de agua.

En la junta longitudinal se debe insertar una lámina incompresible, como por ejemplo una lámina de fibra, con el objeto de prevenir la adherencia de los concretos de la reparación, con los circundantes y así evitar posibles descantillados.

8. Anexos

Siglas usadas en el texto

A: "Vía ancha"

AASHO: "American Association of State Highway Officials"

AASHTO: "American Association of State Highway And Transportation Officials"

AIPCR/PIARC: "Asociación Internacional Permanente de Congresos de Rutas"

AP: "Autopista"

Artículo INV: "Artículo emitido por el INVIAS"

ASTM: "American Society for Testing and Materials"

B: "Bermas"

BEC: "Base estabilizada con cemento"

BG: "Base granular"

CBR: "California Bearing Ratio"

CC: "Carretera de dos carriles"

Cc: "Coeficiente de curvatura"

Cu: "Coeficiente de uniformidad"

D: "Dovelas"

E: "Vía estrecha"

Ec: "Módulo de elasticidad del concreto"

FC: factor camión

FE: factor equivalencia

ICPC: "Instituto Colombiano de Productores de Cemento

IG: "Índice de grupo"

INVIAS: "Instituto Nacional de Vías"

IP: "Índice de plasticidad"

k: "Módulo de reacción de la subrasante"

LE: "Límite de encogimiento"

LL: "Límite líquido"

LP: "Límite plástico"

M: "Vía de ancho medio"

MC: "Carretera multi carriles"

MR: "Módulo de rotura del concreto"

Mr: "Módulo resiliente"

MT: Ministerio de transporte

Norma INV: "Norma emitida por el INVIAS"

PCA: "Portland Cement Association"

Pt: Índice de servicio final

R: "Coeficiente de redondez"

Si: "Clase de suelo con i variando desde 1 hasta 5"

SN: "Suelo natural o subrasante"

Ti: "Clase de tránsito con i variando desde 0 hasta 6"

TPDs, TPDm, TPDa: "Tránsito Promedio Diario calculado con base en un conteo semanal -s-, mensual -m- o anual -a- respectivamente

Vp: "Vía primaria"

Vs: "Vía secundaria"

Vt: "Via terciaria o vascular"

9. Anexos

Referencias

9.1 **AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS AASHTO** Guide for design of pavement structures. Washington : AASHTO, 1986. 1993. 1998. 2 vol.

9.2 **ASSOCIATION MONDIALE DE LA ROUTE.** La carretera de Hormigón : guía práctica para la transferencia de tecnología. Panamá : FICEM, 2006. 59 p.

9.3 **COLOMBIA. MINISTERIO DE TRANSPORTE.** Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con bajos volúmenes de tránsito. Bogotá : INVIAS, 1997. 62 p.

9.4 **COLOMBIA. MINISTERIO DE TRANSPORTE.** Manual de diseño de pavimentos asfálticos en vías con medios y altos volúmenes de tránsito. Bogotá : INVIAS, 1998. 117 p.

9.5 **COLOMBIA. MINISTERIO DE TRANSPORTE.** Especificaciones generales de Construcción de carreteras. Bogotá : INVIAS, 2007.

9.6 **GARCIA ALADIN, Maria Fernanda.** Catalogo de diseño de pavimentos rígidos de la PCA adaptado a las condiciones de tránsito colombianas. Popayán: UNICAUCA, 2002. 385 p.

9.7 **HUANG, Yang Hsien.** Pavement analysis and design. New Jersey : Prentice-Hall, 1993. 815 p.

9.8 **HOLZT, Robert D. & KOVACS, William D.** An Introduction to Geotechnical Engineering. Prentice Hall, 1981.

9.9 **INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI.** Zonificación de los Conflictos de Uso de las Tierras en Colombia. 2002.

9.10 **LONDOÑO NARANJO, Cipriano Alberto.** Diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos de concreto. Medellín : ICPC, 2001. 198 p.

9.11 **LONDOÑO NARANJO, Cipriano Alberto.** Juntas en pavimentos de concreto. Medellín : ICPC, 1992. 12 p.

9.12 **LONDOÑO NARANJO, Cipriano Alberto,** Pavimentos de concreto : guía para reparaciones de profundidad parcial. Bogotá : ACPA : ICPC, 1999. 12 p.

9.13 **LONDOÑO NARANJO, Cipriano Alberto,** Pavimentos de concreto : guía para reparaciones de profundidad total. Bogotá : ACPA : ICPC, 1999. 14 p.

9.14 **LONDOÑO NARANJO, Cipriano Alberto.** Tránsito terrestre. Medellín : ICPC, 1988. 12 p.

9.15 MONTEJO FONSECA, Alfonso. Ingeniería de pavimentos para carreteras. Bogotá: Universidad Católica de Colombia, 1998. 759 p.

9.16 PORTLAND CEMENT ASSOCIATION. Design and construction of joints for concrete streets. Skokie : PCA, 1992. 12 p.

9.17 PORTLAND CEMENT ASSOCIATION. Joint design for concrete pavements. Skokie : PCA, 1961. 10 p.

9.18 PORTLAND CEMENT ASSOCIATION. Fuel Savings of Heavy Trucks on Concrete Pavement,. Skokie : PCA, 2001. 8 p.

9.19 PORTLAND CEMENT ASSOCIATION. Soil cement mixtures : Laboratory handbook. Chicago : PCA, 1950. 86 p.

9.20 PORTLAND CEMENT ASSOCIATION. Soil Cement Pavements. Skokie : PCA, 1990. 4 p.

9.21 PORTLAND CEMENT ASSOCIATION. Thickness design for concrete pavements. Chicago : PCA, 1984. 32 p.

9.22 RICO RODRIGUEZ, Alfonso. JUAREZ BADILLO, Eulalio. Mecánica de suelos : fundamentos de la mecánica de suelos, teoría y aplicaciones de la mecánica de suelos, flujo de agua en suelos. México : Limusa, 1980. 1981. 1982. 3 Vol.

9.23 STARK, Richard E. Road surface's reflectance : Influence lighting. Skokie : PCA, 1986. 7 p.

9.24 TERZAGHI, Karl. PECK, Ralph. & MESRI Gholamreza. Soil Mechanics in Engineering Practice, Jhon Wiley & Sons, Inc. 1996.

9.25 WITCZAK, Matthew W y YODER, Eldon Joseph. Principles of pavement design. New York : John Wiley, 1975. 711 p.

9.26 ZANIEWSKI, John P. Effect of pavement surface type on fuel consumption. Skoki: PCA, 1989. 4 p.

TABLAS

FIGURAS

